



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería de la Energía

# MODELIZACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS CON HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN DINÁMICA



**Volumen I**

**Memoria-Presupuesto**

**Autor:** Nerea Caderot Bofill

**Director:** Joan Grau Barceló

**Convocatòria:** Gener 2017



## Resumen

El objetivo del presente trabajo es realizar una caracterización energética de una parte del edificio EEBE (UPC) mediante el uso de softwares para predecir el uso de energía del edificio y obtener un diagnóstico general sobre los consumos más relevantes, evaluar, contrastar y proponer mejoras del modo de explotación, como también dar a conocer el conjunto de herramientas de modelado y simulación energética Sketchup, Openstudio y EnergyPlus. No obstante, podrá servir de ayuda y conocimiento para personas que quieran continuar paralelamente con este trabajo. En una primera parte, se ha realizado un manual introductorio a esta combinación de programas, describiéndolos paso a paso, detallándolos y, en una segunda parte, se ha llevado a cabo la simulación de una zona de la planta 6 del edificio EEBE (UPC), situado en San Adrián del Besós. Principalmente, se estudiará esta parte del edificio proponiendo tres escenarios diferentes. El estudio principal se simulará con los valores reales del edificio que se hayan podido hallar, y se comparará con dos simulaciones realizadas a partir de las transmitancias térmicas límite descritas por las normativas del Código Técnico de Edificación (CTE) y por edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB) respectivamente. Con estos resultados se inferirán comparaciones y contrastes, verificando el escenario con el que más similitud tiene y con el que más se ajusta el edificio real.

## Resum

L'objectiu del present treball és realitzar una caracterització energètica d'una part de l'edifici EEBE (UPC) mitjançant l'ús de softwares per predir l'ús d'energia de l'edifici i obtenir un diagnòstic general sobre els consums més rellevants, avaluar, contrastar i proposar millores de la forma d'explotació, com també donar a conèixer el conjunt d'eines de modelatge i simulació energètica Sketchup, Openstudio i EnergyPlus. No obstant, podrà servir d'ajuda i coneixement per a persones que vulguin continuar paral·lelament amb aquest treball. En una primera part, s'ha realitzat un manual introductori a aquesta combinació de programes, descrivint pas a pas, detallant-los i, en una segona part, s'ha dut a terme la simulació d'una zona de la planta 6 de l'edifici EEBE (UPC), situat a Sant Adrià de Besòs. Principalment, s'estudiarà aquesta part de l'edifici proposant tres escenaris diferents. L'estudi principal es simularà amb els valors reals de l'edifici que s'hagin pogut trobar, i es compararà amb dues simulacions realitzades a partir de les transmissibilitats tèrmiques límit descrites per les normatives del Codi Tècnic d'Edificació (CTE) i per edificis de consum d'energia gairebé nul (NZEB) respectivament. Amb aquests resultats es inferiran comparacions i contrastos, verificant l'escenari amb el que més semblança té i amb el que més s'ajusta l'edifici real.



## **Abstract**

The objective of this work is to perform an energy characterization of a part of the building EEBE (UPC) by using softwares to predict the use of energy of the building and obtain a general diagnosis on the most relevant consumptions, evaluate, contrast and propose improvements of the exploitation mode, as well as publicize the set of modeling and energy simulation tools Sketchup, Openstudio and EnergyPlus. However, it may be helpful and knowledgeable for people who want to continue in parallel with this work. First of all, an introductory manual has been made to this combination of programs, describing them step by step, detailing them and, secondly, the simulation of an area of the 6th floor of the EEBE building (UPC) has been carried out, located in San Adrián del Besós. Mainly, this part of the building will be studied proposing three different scenarios. The main study will be simulated with the real values of the building that have been found, and will be compared with two simulations made from the thermal transmittances limit described by the regulations of the Technical Building Code (CTE) and buildings of energy consumption almost null (nZEB) respectively. With these results, comparisons and contrasts will be inferred, verifying the scenario with the most similarity and with the one that most closely matches the real building.

## Agradecimientos

Quiero mostrar mis agradecimientos a mi tutor del proyecto Joan Grau, por el soporte y orientación del trabajo que estoy presentando, ayudándome a buscar soluciones en problemas que yo creía irremediables. Al señor Josep Solé, gran arquitecto y conocedor de programas de simulación energética, gracias a él he podido introducirme a estos programas, acudir a una formación introductoria presentada por él, y me ha podido responder a mis dudas y cuestiones cuando más desesperada estaba en el trayecto. Gracias a los creadores de Openstudio, NREL, por sus fuentes de conocimiento y sus páginas de aprendizaje.

Agradezco a mi familia, por aguantarme y soportarme en este paso, por todo el estrés y agobio que he podido sentir y ellos me han ayudado a repeler. A mis amigos, Roser, Judith, Albert, por estar en todo momento y compartiendo experiencias de estar pasando por esta etapa conjuntamente. A mi jefe de prácticas de empresa, Miguel, por dejarme cambiar de horarios constantemente para adecuar mis reuniones y mis temas del trabajo.

## Glosario

**Cerramiento:** función que realizan los módulos que constituyen el tejado o la fachada de la construcción arquitectónica, debiendo garantizar la debida estanqueidad y aislamiento térmico.

**Elementos de sombreado:** módulos fotovoltaicos que protegen a la construcción arquitectónica de la sobrecarga térmica causada por los rayos solares, proporcionando sombras en el tejado o en la fachada del mismo.

**Carga interna:** conjunto de solicitudes generadas en el interior del edificio, debidas, fundamentalmente, a los aportes de energía de los ocupantes, los equipos eléctricos y la iluminación.

**Cerramiento adiabático:** cerramiento a través del cual se considera que no se produce intercambio de calor.

**Clima de referencia:** clima normalizado que define los parámetros climáticos (temperatura, radiación solar...) representativos de una zona climática concreta para el cálculo de la demanda. Permite estandarizar las solicitudes exteriores.

**Demanda energética:** energía útil necesaria que tendrían que proporcionar los sistemas técnicos para mantener en el interior del edificio unas condiciones definidas reglamentariamente en función del uso del edificio (perfiles de uso) y de la zona climática en la que se ubique (clima de referencia). Se puede dividir en demanda energética de calefacción, de refrigeración, de agua caliente sanitaria (ACS) y de iluminación, y se expresa en kW·h/m<sup>2</sup>·año, considerada la superficie útil de los espacios habitables del edificio.

**Envolvente térmica:** La envolvente térmica del edificio está compuesta por todos los cerramientos que delimitan los espacios habitables con el aire exterior, el terreno u otro edificio, y por todas las particiones interiores que delimitan los espacios habitables con espacios no habitables en contacto con el ambiente exterior.

**Espacio habitable:** espacio formado por uno o varios recintos habitables contiguos con el mismo uso y condiciones térmicas equivalentes agrupados a efectos de cálculo de la demanda energética.

**Recinto no habitable:** recinto interior no destinado al uso permanente de personas o cuya ocupación, por ser ocasional o excepcional y por ser bajo el tiempo de estancia, sólo exige unas condiciones de salubridad adecuadas. En esta categoría se incluyen explícitamente como no habitables los garajes, trasteros, las cámaras técnicas y desvanes no acondicionados, y sus zonas comunes.

**Fachada:** cerramiento en contacto con el aire exterior cuya inclinación es superior a 60º respecto a la horizontal. La orientación de una fachada se caracteriza mediante el ángulo  $\alpha$  que es el formado por el norte geográfico y la normal exterior de la fachada, medido en sentido horario.

**Hueco:** cualquier elemento transparente o semitransparente de la envolvente del edificio. Comprende las ventanas, lucernarios y claraboyas así como las puertas acristaladas con una superficie semitransparente superior al 50%.

**Partición interior:** elemento constructivo del edificio que divide su interior en recintos independientes. Pueden ser verticales u horizontales.

**Material:** parte de un producto sin considerar su modo de entrega, forma y dimensiones, sin ningún revestimiento o recubrimiento.

**Suelo:** cerramiento horizontal o ligeramente inclinado que esté en contacto por su cara inferior con el aire, con el terreno, o con un espacio no habitable.

**Temperatura de consigna:** temperatura o rango de temperaturas consideradas en el cálculo de la demanda energética que fija el límite de temperatura interior a partir del cual operan los sistemas de acondicionamiento del edificio, requiriendo aportes energéticos.

**Transmitancia térmica:** flujo de calor, en régimen estacionario, para un área y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del elemento que se considera.

## Índice

<b>Resumen.....</b>	<b>i</b>
<b>Resum .....</b>	<b>ii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>iii</b>
<b>Agradecimientos.....</b>	<b>iv</b>
<b>Glosario .....</b>	<b>v</b>
<b>1. Prefacio .....</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación.....	1
1.2. Origen del trabajo.....	1
<b>2. Introducción .....</b>	<b>2</b>
2.1. Objetivos.....	2
2.2. Abasto	2
<b>3. Los softwares empleados.....</b>	<b>3</b>
<b>4. Introducción a EnergyPlus .....</b>	<b>4</b>
4.1. Descarga e instalación .....	5
4.2. Entorno de trabajo .....	5
4.2.1. EP-Launch .....	5
4.2.2. IDF-Editor .....	7
<b>5. Introducción a Google Sketchup .....</b>	<b>10</b>
5.1. Descarga e instalación .....	10
5.2. Selección de la plantilla .....	11
5.3. Ambiente de trabajo.....	11
5.4. Selección de unidades de medidas.....	13
5.5. Menú de Sketchup.....	14
5.5.1. Archivo.....	14
5.5.2. Edición .....	14
5.5.3. Ver .....	15
5.5.4. Cámara.....	16
5.5.5. Dibujo.....	16
5.5.6. Herramientas .....	16



5.5.7.	Ventana .....	17
5.5.8.	Ayuda .....	17
5.6.	Barra de herramientas de Sketchup .....	18
5.6.1.	Conjunto grande de herramientas.....	18
5.6.2.	Barra de herramientas Principal .....	18
5.6.3.	Barra de herramientas de Dibujo.....	18
5.6.4.	Barra de herramientas de Edición.....	19
5.6.5.	Barra de herramientas de construcción:.....	19
5.6.6.	Barra de herramientas de cámara .....	19
5.6.7.	Barra de herramientas de Estilos .....	20
5.6.8.	Barra de herramientas de vistas .....	20
5.6.9.	Barra de herramientas de sombras.....	20
5.6.10.	Barra de herramientas de sección .....	20
5.7.	Moverse por el área de trabajo .....	21
5.8.	Conceptos básicos y herramientas de dibujo .....	21
5.8.1.	Líneas.....	21
5.8.2.	Valores mediante el cuadro de control de valores .....	22
5.8.3.	Borrar .....	22
5.8.4.	Empujar/tirar.....	23
5.8.5.	Seleccionar .....	23
5.8.6.	Medidas.....	25
5.8.7.	Posición en el objeto .....	25
5.8.8.	Mover .....	27
5.8.9.	Rotar .....	28
5.8.10.	Escalar .....	29
5.9.	Bandeja predeterminada .....	29
5.9.1.	Estilos .....	30
5.9.2.	3D Warehouse.....	31
5.9.3.	Componentes .....	33
5.9.4.	Grupos.....	34
5.9.5.	Materiales .....	34

<b>6. Introducción a Openstudio .....</b>	<b>36</b>
6.1. Descarga e instalación .....	36
6.2. Barra de herramientas de Openstudio .....	36
6.2.1. Extensiones .....	37
6.2.2. Openstudio Tools .....	38
6.2.3. Herramientas de gestión de archivos .....	39
6.3. Creación de modelo .....	41
6.3.1. Selección de plantilla .....	41
6.3.2. Creación de espacios .....	42
6.3.3. Surface matching .....	45
6.3.4. Set attributes for selected spaces .....	46
6.3.5. Inspector Openstudio .....	47
6.3.6. Creación de ventanas y puertas .....	48
6.3.7. Shades .....	50
6.4. Openstudio Rendering Toolbars .....	52
6.4.1. Render by surface type .....	52
6.4.2. Render by boundary condition .....	53
6.4.3. Render by construction .....	53
6.4.4. Render by space type .....	53
6.4.5. Render by thermal zone .....	54
6.4.6. Render by building story .....	54
6.5. Openstudio Application .....	55
6.5.1. Barra de herramientas superior .....	56
6.5.2. Barra de herramientas vertical .....	57
6.5.2.1. Site .....	57
6.5.2.2. Schedules .....	58
6.5.2.3. Añadir objetos desde la Biblioteca .....	61
6.5.2.4. Schedule sets .....	62
6.5.2.5. Materiales .....	63
6.5.2.6. Constructions .....	65
6.5.2.7. Constructions sets .....	66

6.5.2.8.	Loads .....	67
6.5.2.9.	Space types .....	69
6.5.2.10.	Facility .....	72
6.5.2.11.	Spaces.....	73
6.5.2.12.	Thermal zones .....	75
6.5.2.13.	HVAC Systems .....	77
6.5.2.14.	Output variables.....	84
6.5.2.15.	Simulation settings.....	85
6.5.2.16.	Measures.....	85
6.5.2.17.	Run simulation .....	86
6.5.2.18.	Results summary .....	87
6.5.3.	Building component Library (BCL).....	88
<b>7.</b>	<b>Definición del edificio de estudio y simulación energética con EnergyPlus...</b>	<b>92</b>
7.1.	Planificación .....	92
7.2.	Localización del edificio.....	92
7.3.	Descripción geométrica .....	94
7.4.	Descripción constructiva .....	95
7.4.1.	Ventanas.....	95
7.4.2.	Paredes exteriores .....	96
7.4.3.	Panel sándwich.....	96
7.4.4.	Suelos y techos.....	96
7.4.5.	Columnas.....	96
7.4.6.	Lamas .....	96
7.5.	Descripción de horarios .....	97
7.5.1.	Ocupación .....	97
7.5.2.	Iluminación y equipos .....	100
7.5.3.	Actividad.....	102
7.5.4.	Termostato .....	104
7.6.	Descripción de cargas internas .....	108
7.6.1.	People definition .....	108
7.6.2.	Lights and equipments definition .....	110



7.6.3.	Infiltración.....	113
<b>8.</b>	<b>Estudio CTE.....</b>	<b>118</b>
8.1.	Introducción .....	118
8.2.	Normativa CTE .....	118
8.3.	DB-HE-Ahorro de Energía .....	120
8.3.1.	HE1: Limitación de la demanda energética .....	120
8.4.	Simulación con CTE.....	122
8.5.	Resultados CTE .....	128
8.5.1.	Indicadores de consumo.....	129
8.5.2.	Resultados de consumo eléctrico.....	130
8.5.3.	Resultados consumo calefacción y refrigeración .....	131
8.5.4.	Resultados de transmitancias.....	132
<b>9.</b>	<b>Estudio NZEB .....</b>	<b>134</b>
9.1.	Introducción .....	134
9.2.	Objetivos de NZEB .....	134
9.3.	Normativa NZEB en Europa .....	135
9.4.	Normativa NZEB en España y Cataluña .....	136
9.5.	Simulación con NZEB .....	137
9.6.	Resultados NZEB.....	142
9.6.1.	Indicadores de consumo.....	142
9.6.2.	Consumo eléctrico .....	143
9.6.3.	Consumo de calefacción y refrigeración .....	144
9.6.4.	Valores de transmitancias .....	145
<b>10.</b>	<b>Estudio edificio objeto .....</b>	<b>147</b>
10.1.	Introducción .....	147
10.2.	Simulación objeto .....	147
10.3.	Resultados .....	155
10.3.1.	Indicadores de consumo.....	155
10.3.2.	Consumo eléctrico .....	156
10.3.3.	Consumo de calefacción y refrigeración .....	157
10.3.4.	Transmitancias.....	158

<b>11. Comparativa .....</b>	<b>162</b>
<b>12. Sistemas de mejora e impacto ambiental .....</b>	<b>165</b>
12.1. Envolvente térmica .....	165
12.2. Puentes térmicos .....	165
12.3. Carpinterías y vidrios.....	166
12.4. Ventilación .....	166
12.5. Energías renovables .....	167
<b>Conclusiones .....</b>	<b>168</b>
<b>13. Presupuesto.....</b>	<b>170</b>
13.1. Licencias softwares .....	170
13.2. Simulación energética .....	170
13.2.1. Modelado envolvente .....	170
13.2.2. Modelado de los horarios y cargas internas .....	170
13.3. Análisis y documentación.....	171
13.4. Factores externos.....	171
13.5. Mejoras del edificio.....	171
13.6. Desglose de presupuesto .....	172
<b>14. Bibliografía .....</b>	<b>173</b>

# 1. Prefacio

## 1.1. Motivación

Durante los últimos cuatrimestres de la carrera, cuando empecé a tocar conceptos de eficiencia energética, termodinámica y softwares de simulación, sentí curiosidad por conocer más acerca de este ámbito tan importante hoy en día como es el tema del ahorro energético, la demanda térmica y energética, los recursos... Creo que se ha de incentivar el uso de estas herramientas en centros formativos como universidades o escuelas.

## 1.2. Origen del trabajo

Inicialmente, como estoy realizando prácticas en el departamento de ingeniería en el sector de renovables, pensé que podría ser útil realizar un trabajo relacionado con lo que estaba haciendo, para el bien de la empresa y para mi autoaprendizaje. Desafortunadamente, no se pudo llevar a cabo por falta de compromiso y dedicación por parte de la empresa, por lo que yo y un compañero contactamos con Joan. Él nos propuso el tema del proyecto y nos pareció muy interesante, por lo que, por lo menos yo, decidí seguir adelante.

## 2. Introducció

### 2.1. Objectivos

El presente trabajo tiene por objeto la introducción del sistema de simulación Openstudio, con su programa de complemento Sketchup y su motor de cálculo EnergyPlus con finalidad docente, mediante el estudio de una planta de la universidad de la Escuela de Ingeniería de Barcelona Este (EEBE). El trabajo también servirá como modelo docente para una posible implementación de asignaturas relacionadas con softwares de simulación o para iniciar un nuevo trabajo a modo de continuación de este mismo.

Este trabajo tendrá los siguientes objetivos:

- Analizar energéticamente una parte de la planta 6 de la Escuela de Ingeniería de Barcelona Este (EEBE)
- Introducción a la utilización de las herramientas de modelado de geometría y simulación energética Sketchup, Openstudio y EnergyPlus
- Recoger información constructiva del edificio con la máxima fiabilidad posible

### 2.2. Abasto

Este trabajo consta de dos partes esenciales:

- Parte docente y explicativa, donde se incluye el manual introductorio de los softwares utilizados
- Parte práctica, donde se lleva a cabo las simulaciones con los programas.

### 3. Los softwares empleados

Como ya se ha dicho, en este trabajo se pretende realizar la simulación energética de un modelo de edificio mediante el motor de cálculo energético EnergyPlus 8.6 con la herramienta de construcción e introducción de geometría Sketchup y el plugin para la modelización de edificios Openstudio.

Por un lado, el software Sketchup permite crear, diseñar y presentar todo tipo de modelos en tres dimensiones. Existen dos versiones de este programa, el primero es de pago (Sketchup Pro) y el segundo es una versión gratuita (Sketchup Make). En este proyecto se recurre a la versión gratuita, que por contraposición se reducen las facilidades, no obstante, las herramientas que incluye este programa son suficientes para poder generar la geometría deseada en EnergyPlus.

Por otro lado, para que haya una conexión entre Sketchup y EnergyPlus debe haber un plugin que facilite la interacción entre estos programas. En este caso el plugin es Openstudio, es un programa gratuito que permite crear el edificio e introduce una barra de herramientas adicional en la interfaz de Sketchup. Esto permite definir otros parámetros del edificio como pueden ser: tipo de construcción, zonas térmicas, ventanas, contorno, etc.

## 4. Introducción a EnergyPlus

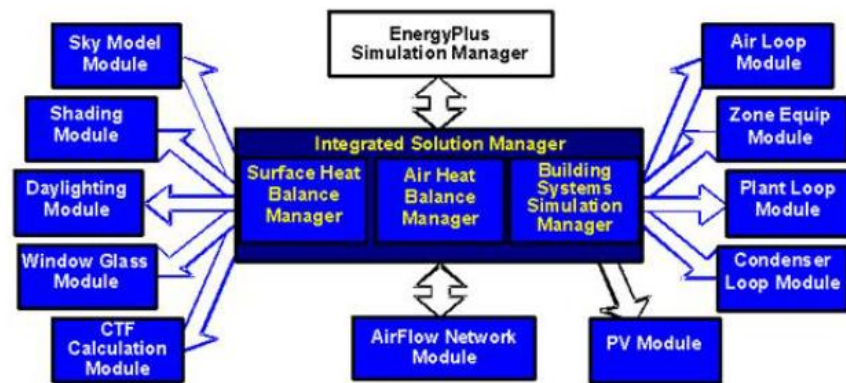
EnergyPlus es un programa de simulación diseñado para modelar edificios con sus respectivos sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC). Este motor de simulación fue diseñado para ser un elemento dentro de un sistema de programas que incluiría una gráfica interfaz de usuario para describir el edificio, como en este caso Sketchup y Openstudio. Sin embargo, se puede ejecutar independientemente sin tal interfaz, es decir, de forma independiente.

EnergyPlus está desarrollado por el Departamento de Energía (DOE) del gobierno de EEUU, siendo uno de los programas más reconocidos en el ámbito de la simulación energética. Tiene sus raíces en los programas BLAST y DOE-2. BLAST (Construcción de Análisis de cargas y Termodinámica del Sistema). Es un programa muy utilizado por ingenieros de diseño o arquitectos a nivel internacional que quieran dimensionar equipos con sistemas HVAC, generar simulaciones con las características y datos del edificio, optimizar los rendimientos energéticos, etc., preocupaciones que se generaron a raíz de la crisis energética de los años 70 y se intentó resolver mediante esos dos programas. Así pues, como se ha mencionado, EnergyPlus es un programa utilizado para el análisis energético y la simulación de cargas de un edificio descrito por el usuario, teniendo en cuenta su construcción, los sistemas asociados, etc., este calculará las cargas caloríficas y frigoríficas para mantener las condiciones térmicas definidas por los controles termostáticos, los consumos de los equipos de cada planta, como también otros muchos detalles que son necesarios para verificar que la simulación se está actuando como el edificio original de referencia haría.

Algunas características de este programa son:

- Solución integrada y simultánea de las condiciones de la zona térmica y del sistema HVAC.
- Solución basada en el equilibrio térmico de efectos radiantes y convectivos que producen temperaturas superficiales confort térmico y cálculos de condensación.
- Posibilidad de introducir archivos meteorológicos de la zona en la que se encuentra.
- Archivos de texto de entrada, salida y tiempo basados en código ASCII
- Solución de balances térmicos permite el cálculo simultáneo de efectos radiantes y convectivos, tanto en el interior como en el exterior de una superficie.
- Permite la conducción de calor a través de elementos de construcción como paredes, techos, pisos, etc., utilizando funciones de transferencia de calor.
- Modelo combinado de transferencia de calor y masa que explica el movimiento del aire entre las zonas.
- Modelos de confort térmico basados en actividad, bulbo seco, humedad, etc.
- Sistemas HVAC configurables basados en bucle (convencionales y radiantes) que permiten a los usuarios modelar sistemas típicos.
- Resumen estándar e informes de salida detallados, así como informes definidos por el usuario con resolución de tiempo seleccionable de anual a sub-horario.





**Figura 1.** Elementos internos de Energy Plus.  
Fuente: EnergyPlus Getting Started Document

## 4.1. Descarga e instalación

El núcleo de la información y programas que hacen falta para utilizarlo se pueden encontrar en la página oficial de EnergyPlus. En ella se pueden descargar, además del programa principal, documentación sobre el programa, archivos meteorológicos, etc. En la web oficial [3] se debe acceder al apartado “Downloads”. En ella aparecerá la versión más reciente lanzada, como también otras versiones anteriores para poder ser descargadas y, en función del sistema operativo del que se disponga (Windows, Linux o Max), se deberá escoger una opción u otra de descarga.

Una vez descargado e instalado, se habrá creado una carpeta (con ubicación a elegir) de nombre EnergyPlus en nuestro ordenador donde habrán subcarpetas con archivos como: Documentación, Ejercicios de ejemplo, datos climatológicos, componentes adicionales de EnergyPlus, etc.

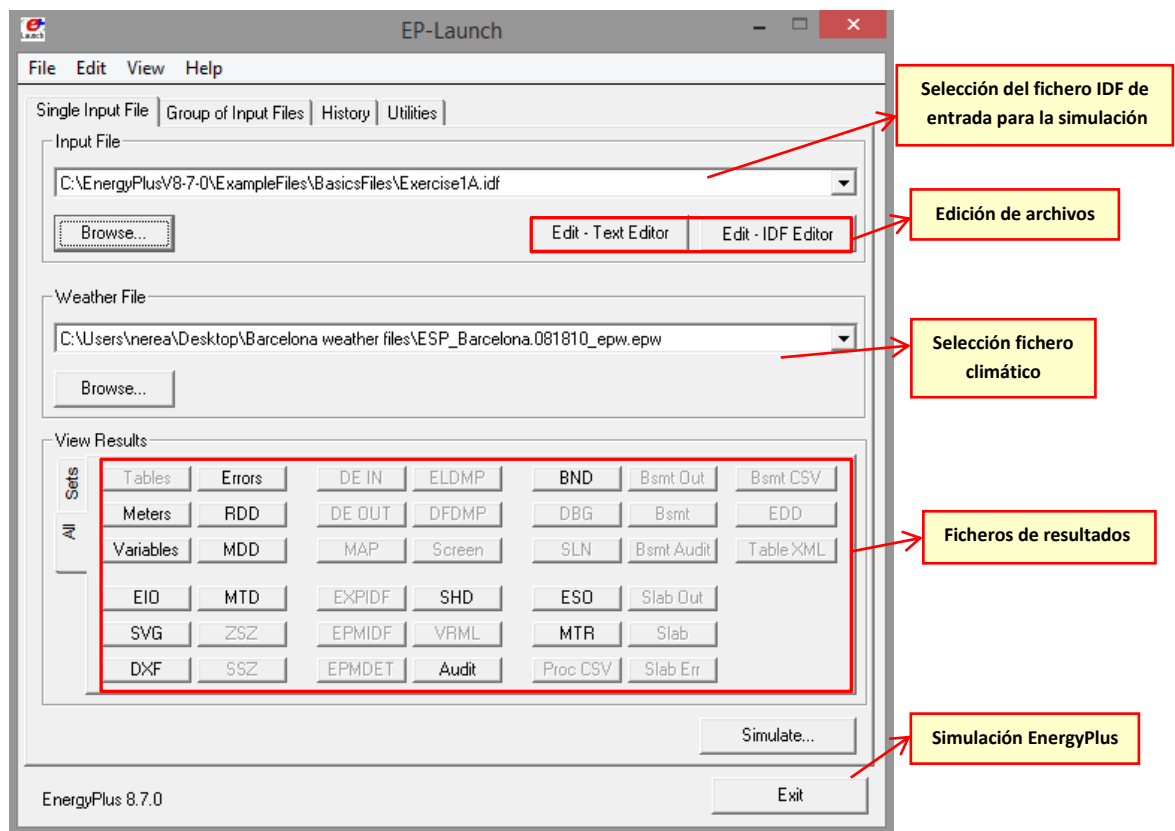
## 4.2. Entorno de trabajo

Hasta hace unos años no había softwares complementarios para el programa de EnergyPlus, por lo que la única vía para introducir datos y realizar simulaciones era mediante EP-Launch. No obstante, aún se puede utilizar si no se desea interactuar mediante otras interfaces. Seguidamente, en los siguientes apartados se comenta de forma general este componente de EnergyPlus.

### 4.2.1. EP-Launch

Éste es un componente opcional de la instalación de EnergyPlus para Windows (no está disponible para plataformas Linux y Mac). Especialmente diseñado para los usuarios que quieran una forma fácil de seleccionar archivos y ejecutarlos con EnergyPlus. Desde EP-Launch se introducirán el fichero IDF con los datos de entrada y el fichero de datos meteorológicos mediante la pestaña **Browse** situada bajo **Input File** y **Weather File**. Además, EP-Launch puede ayudar a abrir un editor de texto (IDF Editor) para los archivos de entrada y salida, abrir una hoja de cálculo una vez

procesados los resultados, un explorador web para la visualización de archivos en formato de tablas, e iniciar un visor para archivo de dibujo, entre otros.



**Figura 2.** Ventana de EP-Launch con cuadros explicativos

En el apartado **View Results** de EP-Launch se encuentran distintos tipos de ficheros para la visualización de los resultados. Los más destacados se muestran a continuación.

**VARIABLE** - Resultados tabulados de forma variable en formato delimitado por comas, tabulaciones o espacios

**ESO** - salida variable de informe sin procesar

**RDD** - lista de variables de salida disponibles desde la ejecución

**MDD** - lista de medidores de salida disponibles desde la ejecución

**EIO** - Resultados EnergyPlus adicionales

**ERR** - lista de errores y advertencias

**MTR** - salida del medidor del informe sin procesar

**MTD** - lista de variables del componente del medidor

**METER** - informe del medidor tabulado en formato delimitado por comas, tabulaciones o espacios

**SVG** - Diagrama de HVAC



**AUDIT** - eco de archivo de entrada con errores y advertencias de procesador de entrada

**DXF** - archivo de dibujo en formato AutoCAD DXF

#### 4.2.2. IDF-Editor

El archivo de datos de entrada (IDF) es un archivo ASCII que contiene los datos que describen el edificio y Sistema HVAC que será simulado. Muchos archivos de ejemplo se instalan como parte del programa. El editor IDF es un editor simple, inteligente, que lee el EnergyPlus Data Dictionary (IDD). Una entrada en el IDD consta de texto separado por comas terminado por un punto y coma. El editor permite la creación y revisión de los archivos de entrada de EnergyPlus (IDF). Se puede ejecutar desde un acceso directo en el directorio principal de EnergyPlus (creado como parte de la instalación) o directamente desde EP-Launch. El editor de IDF no verifica las entradas para determinar su validez, aunque algunos valores numéricos se resaltan si están fuera del rango o algunos campos de texto están resaltados si contienen una referencia inválida.

Para abrir el editor desde EP-Launch, el archivo de entrada o archivo IDF, se selecciona desde el botón **Edit-IDF Editor** situado en la esquina superior derecha de la interfaz de Ep-Launch. Se iniciará el programa separado llamado el IDF Editor, que permitirá editar el archivo IDF seleccionado previamente desde EP-Launch, mediante la pestaña **Browse** situada en el recuadro de **Input File** en la esquina superior izquierda. El archivo IDF contiene todos los datos referentes al edificio y mediante el editor se pueden modificar manualmente, cambiando cualquier parámetro. Para volver a simular el archivo modificado, se han de guardar todos los cambios que se hayan realizado antes de volver a EP-Launch para ejecutar las simulaciones de nuevo.

La ventana principal de IDF Editor tiene tres partes: el listado de todas las clases y objetos, una breve descripción del objeto y entrada seleccionada y los distintos campos que forman el objeto seleccionado. Asimismo, en la parte superior de la interfaz se tienen una serie de botones para crear, duplicar, borrar y copiar nuevos objetos.

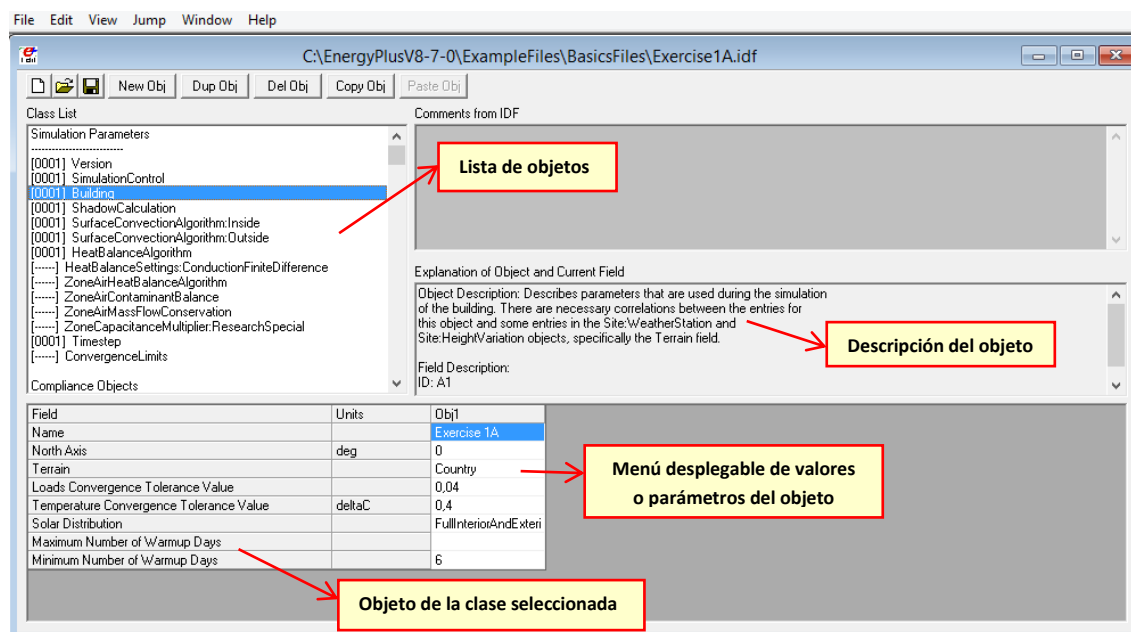


Figura 3. Ventana para la edición de ficheros IDF

La lista de clases muestra cómo se agrupan los elementos del IDF. La lista sigue la descripción de **Input Data Dictionary (IDD)**. Clicando sobre cualquier clase de la lista esta aparece resaltada en azul y queda seleccionada. Si la clase seleccionada contiene a su izquierda el símbolo [-----] significa que esa clase no contiene objetos. En caso de contener objetos, tendría un número, como [---3], para indicar el número de objetos que contenidos en esa clase.

Por ejemplo, en el caso de la clase de **BuildingSurface:Detailed** localizada debajo la definición de **Thermal Zones and Surfaces**, como se muestra en la Figura 4, contiene 21 objetos en el archivo IDF. Los 21 objetos de esa clase, o cualquier objeto nuevo, contienen detalles que se muestran en las columnas dentro de la cuadrícula, en la Figura 3 se hace referencia a la sección de “Menú desplegable de valores y parámetros”. El objeto está compuesto por campos para definir y parametrizar aún más el objeto, cuyas unidades se muestran en la segunda columna del apartado “Objeto de la clase seleccionada” de la Figura 3. Así pues, todos los campos del objeto se muestran en la primera columna del apartado “Objeto de la clase seleccionada” y para ver todos los campos puede que sea necesario desplazarse horizontalmente por cada fila, de la misma forma que puede que sea necesario desplazarse en sentido vertical para identificar todos los 21 objetos de la clase.

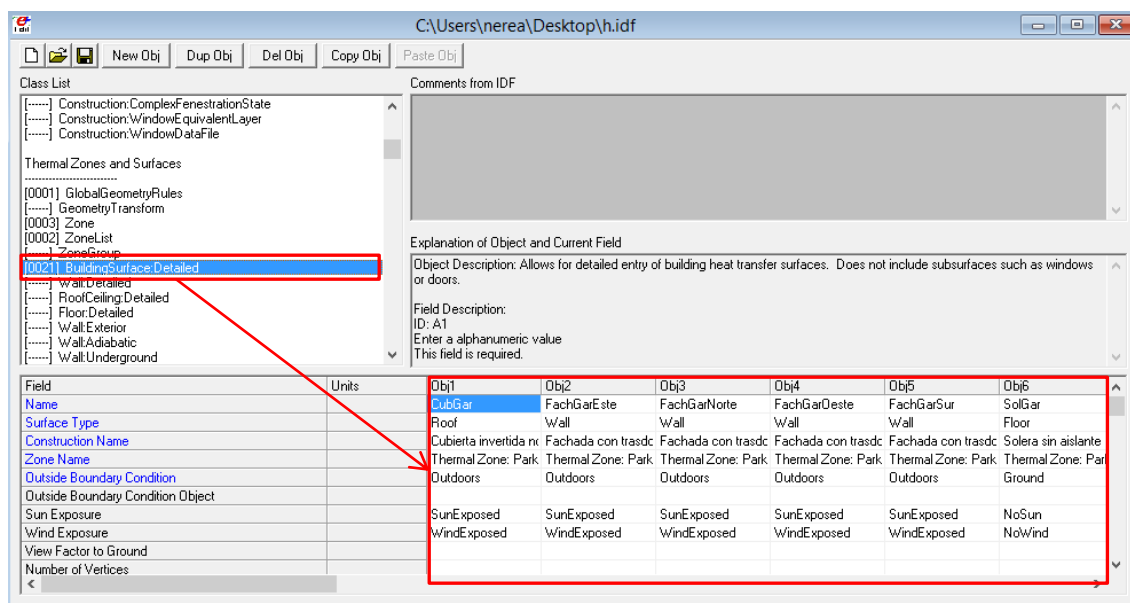


Figura 4. Edición de objetos en Editor IDF

## 5. Introducción a Google Sketchup

Sketchup es un programa de informático de modelado 3D con el objetivo de crear, presentar y modelar en 3D. Esta herramienta es utilizada para conceptualizar volúmenes y formas arquitectónicas de un espacio. Fue diseñado para usarlo de forma intuitiva y flexible, y para que el aprendizaje del diseño tridimensional sea simple. Sketchup es propiedad de Trimble Inc, siendo ésta una empresa de cartografía, topografía y equipo de navegación.

### 5.1. Descarga e instalación

Google Sketchup dispone de una versión gratuita, Sketchup Make, y una versión de pago con funcionalidad adicional, Sketchup Pro. El programa utilizado para la realización de este trabajo es la versión de Sketchup Make, como se ha mencionado anteriormente. Su descarga se puede realizar directamente desde la página oficial de Sketchup, donde aparecen diferentes opciones de descarga en función del sistema operativo del ordenador y del idioma deseado. En este caso se ha descargado la versión de Sketchup Make 2016 para Windows 64Bit en Español

SketchUp				
	Nuestros productos		Todo el mundo...	Comprar   Aprender   Descargar
SketchUp Make 2017	<a href="#">Herunterladen</a>	<a href="#">Herunterladen</a>		<a href="#">Lizenzbedingungen</a>
SketchUp Pro 2016	<a href="#">Herunterladen</a>	<a href="#">Herunterladen</a>	<a href="#">Herunterladen</a>	<a href="#">Lizenzbedingungen</a>
SketchUp Pro 2015	<a href="#">Herunterladen</a>	<a href="#">Herunterladen</a>	<a href="#">Herunterladen</a>	<a href="#">Lizenzbedingungen</a>
	Mac OS X	Windows 64 Bit	Windows 32 Bit	<a href="#">Términos y condiciones</a>
Español				
SketchUp Pro 2017	<a href="#">Descargar</a>	<a href="#">Descargar</a>		<a href="#">Términos y condiciones</a>
SketchUp Make 2017	<a href="#">Descargar</a>	<a href="#">Descargar</a>		<a href="#">Términos y condiciones</a>
SketchUp Pro 2016	<a href="#">Descargar</a>	<a href="#">Descargar</a>	<a href="#">Descargar</a>	<a href="#">Términos y condiciones</a>
SketchUp Pro 2015	<a href="#">Descargar</a>	<a href="#">Descargar</a>	<a href="#">Descargar</a>	<a href="#">Términos y condiciones</a>
	Mac OS X	Windows 64 Bit	Windows 32 Bit	<a href="#">Términos y condiciones</a>

**Figura 5.** Descarga y tipo de Sketchup

Una vez descargado e instalado el programa de la web oficial, anteriormente nombrada, se procede a abrir el programa. Inmediatamente aparecerá la siguiente pantalla inicial. En la ventana emergente se mostrarán varias opciones, de entre ellas, las más usadas serán “Elegir plantilla y “Empezara utilizar Sketchup”.



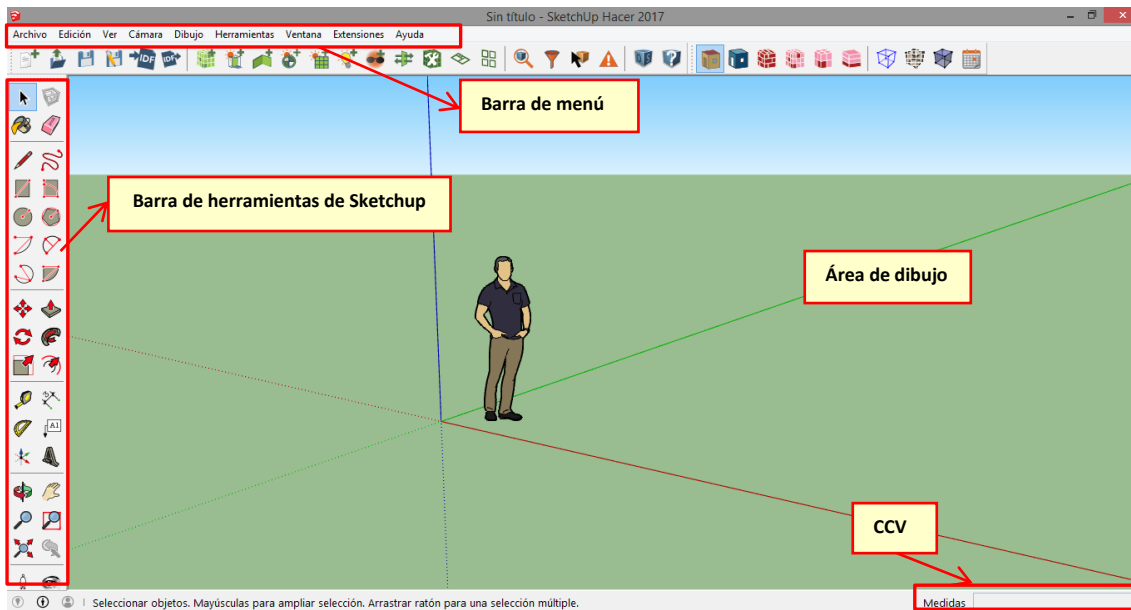
Figura 6. Ventana de inicio de Sketchup

## 5.2. Selección de la plantilla

Sketchup cuenta con diferentes plantillas en función de las unidades de longitud que queramos utilizar (Pies, pulgadas, centímetros)... Entonces, se ha de escoger una plantilla adecuada para así predefinirla y utilizarla cada vez que se abra el programa. Se ha de recurrir a la pestaña “Elegir Plantilla” y seleccionar, de entre todas las opciones que se muestra, la opción “Plantilla Simple-Metros”, así, cada vez que se abra el programa, aparecerá por predefinición la plantilla escogida, como se muestra en la imagen anterior en el extremo superior izquierdo.

## 5.3. Ambiente de trabajo

Seguidamente se puede comenzar a utilizar el programa, dándole a la pestaña “Empezar a utilizar Sketchup” en el extremo inferior derecho. Directamente se abrirá la siguiente imagen con la plantilla anteriormente escogida.



**Figura 7.** Ventana principal y herramientas de Sketchup

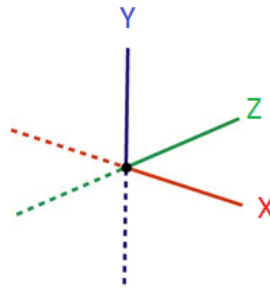
Sketchup se utiliza como entorno de modelación en 3D para diferentes programas, entre ellos Openstudio y EnergyPlus. Es por eso que en la misma barra de herramientas y menús se puede encontrar elementos tanto de Sketchup (Geometría) como de Openstudio (modelación)

**Barra de título (titlebar):** Es donde aparece el nombre que recibe el fichero, situada en la parte superior de la interfaz.

**Barra de menú (Menubar):** Es donde se encuentra la mayoría de herramientas que se usa en el entorno Sketchup, junto con los diferentes comandos y configuraciones disponibles.

**Barra de herramientas (toolbar):** Distribuidas en dos barras de herramientas horizontal y vertical, situadas en la parte superior, debajo de la barra de menú, y en la parte izquierda de la interfaz. En las barras de herramientas es donde aparecen las distintas funciones y opciones necesarias para crear los objetos en 3D y manejar Sketchup con facilidad.

**Área de dibujo:** Es el espacio en donde se crea el modelo. El espacio 3D del área se identifica visualmente mediante los ejes de dibujo, que son tres líneas de colores perpendiculares entre sí. Estos ejes pueden ser de ayuda para dar un sentido de la dirección en el espacio 3D mientras se está trabajando. En el área de dibujo, nos encontramos con tres ejes, un eje vertical (azul), un eje horizontal (rojo), y un eje de profundidad (verde). El sistema de coordenadas en 3D que utiliza Sketchup sirve para identificar los puntos en el espacio mediante la posición en la que se encuentran respecto cada eje, asignando el valor X al eje horizontal, el valor Y al eje vertical, y el valor Z al eje de profundidad.



**Figura 8.** Orientación y colores de los ejes de Sketchup

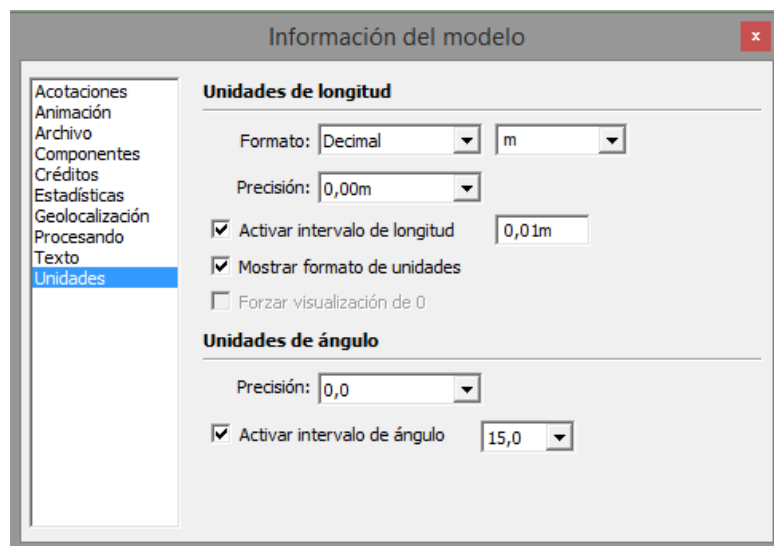
Las líneas de los ejes que aparecen en continua significan que el sentido del eje es en positivo, mientras que las líneas discontinuas significan el sentido negativo de cada eje.

**Barra de estado:** situada en la parte inferior del área de dibujo. En la zona izquierda de la misma aparecen indicaciones sobre las herramientas de trabajo que se están utilizando, mientras que en la parte de inferior derecha está el cuadro de control de valores (CCV).

**Cuadro de control de valores (CCV):** En el cuadro de valores se muestra la información dimensional, mientras nos movemos por el área de trabajo. También, en él se pueden introducir valores para ajustar el elemento en cuestión a las dimensiones especificadas.

## 5.4. Selección de unidades de medidas

Una vez controlados los comandos y el abanico de funciones, se procede a indicar las unidades de medidas junto con otros parámetros. En la pestaña **Ventana**, se selecciona la opción **Información del modelo** y se selecciona la última opción de la lista **Unidades** donde aparecerá la siguiente imagen:



**Figura 9.** Configuración en la pestaña de Unidades

En la Figura 9 se muestra la configuración escogida. Se escogen unidades en metros y decimales, con una precisión del 0,00(mínimo error).

## 5.5. Menú de Sketchup

### 5.5.1. Archivo

En esta opción se encuentran utensilios básicos para el manejo de archivos Sketchup como nuevo, abrir, guardar, guardar como plantilla. También se pueden importar y exportar modelos en 2D y 3D. También se encuentra la herramienta de Geolocalización para añadir una localización (normalmente de Google maps) en caso de querer situar el dibujo en un plano concreto. Otra herramienta útil es la 3D Warehouse, explicada más adelante.

Nuevo	Ctrl+N
Abrir...	Ctrl+O
Guardar	Ctrl+S
Guardar como...	
Guardar una copia como...	
Guardar como plantilla...	
Volver	
Enviar a LayOut (Solo Pro)...	
Geolocalización	▶
3D Warehouse	▶
Importar...	
Exportar	▶
Configurar impresión...	
Vista preliminar...	
Imprimir...	Ctrl+P
Generar informe... (Solo Pro)	
1 Flush+Door+755+x+2100	
2 C:\Users\nera\Desktop\Huecos	
3 C:\Users\nera\Desktop\prueba	
4 C:\Users\nera\Desktop\cocina	
Salir	

### 5.5.2. Edición

En esta herramienta se encuentran relacionadas con la edición de las geometrías. Aparecen las opciones estándar como copiar, pegar, cortar, eliminar, seleccionar o deshacer la última acción. Otras opciones para facilitar la visualización y verificación del objeto son ocultar/mostrar, de forma que tenemos la opción de mostrar o no cualquier elemento seleccionado de la geometría. En esta lista aparecen opciones para crear componentes o grupos, explicados más adelante.



Deshacer Empujar/tirar	Alt+Atrás
Rehacer	Ctrl+Y
Cortar	Mayúsculas+Eliminar
Copiar	Ctrl+C
Pegar	Ctrl+V
Pegar en su sitio	
Eliminar	Eliminar
Eliminar guías	
Seleccionar todo	Ctrl+A
Anular selección	Ctrl+T
Ocultar	
Mostrar	►
Bloquear	
Desbloquear	►
Crear componente...	G
Crear grupo	
Cerrar grupo/componente	
Intersecar caras	►
No hay nada seleccionado	►

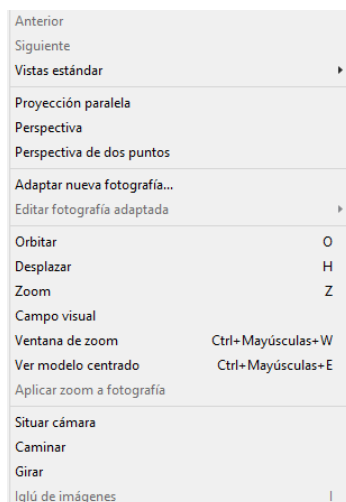
### 5.5.3. Ver

En esta pestaña aparecen herramientas que permiten modificar la visualización de la geometría. En este caso los elementos que están activados son los que aparecerán en el dibujo, como los cortes de sección, ejes y guías. En la lista también existen opciones según el estilo deseado de las diferentes entidades del dibujo. Una opción destacada es la Barra de herramientas, que permite escoger el pack de herramientas para colocarlas y utilizarlas directamente en el área de trabajo. Las barras de herramientas que se usan en este trabajo se explican más adelante.

Barras de herramientas...	
Pestañas de escena	
Geometría oculta	
Planos de sección	
Cortes de sección	
Ejes	
Guías	
Sombras	
Niebla	
Estilo de arista	►
Estilo de cara	►
Edición de componentes	►
Animación	►

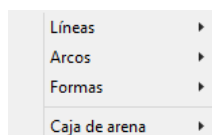
### 5.5.4. Cámara

Esta opción contiene herramientas relacionadas con el punto de vista de la geometría y su modificación. La lista contiene utensilios como orbitar, desplazar, zoom, girar, etc. En este trabajo se utiliza la visión en perspectiva, ya que ofrece una visión clara y general de la geometría.



### 5.5.5. Dibujo

En ésta aparecen herramientas para crear dibujos como líneas, arcos, polígonos rectángulos o círculos.



### 5.5.6. Herramientas

En este caso aparece una lista con diferentes grupos de herramientas. En primer lugar están las operaciones básicas de modificación como borrar, mover, pintar, rotar, escalar o empujar. Seguidamente están las opciones sobre medición y posición. Otro grupo de opciones permite escribir sobre el dibujo, útil si se quiere injerir anotaciones o indicaciones.

Seleccionar	Espaciar
Borrar	E
Pintar	B
Mover	M
Rotar	Q
Escala	S
Empujar/tirar	P
Sígueme	
Equidistancia	F
Herramienta revestimiento	
Herramientas sólidas (Solo Pro)	►
Medir	T
Transportador	
Ejes	
Acotaciones	
Texto	
Texto 3D	
Plano de sección	
Herramientas de cámara avanzadas (Solo Pro)	
Interactuar	
Caja de arena	►

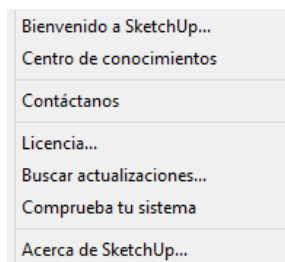
### 5.5.7. Ventana

En esta pestaña se encuentran herramientas destacadas como la creación y modificación de la bandeja predeterminada, que se explica más adelante, la herramienta de preferencias, para configurar y calibrar diferentes elementos de Sketchup según las preferencias del usuario (accesibilidad, archivos, dibujo, espacio de trabajo, general, plantilla, etc) Otra opción recurrente es el 3D Warehouse, una herramienta para descargar y subir modelos creados por usuarios, explicado más adelante. En la opción de información del modelo se puede acceder a la modificación de unidades, explicado en el apartado de “Selección de unidades” anterior.

Bandeja predeterminada	►
Gestionar bandejas...	
Nueva bandeja...	
Información del modelo	
Preferencias	
3D Warehouse	
Extension Warehouse	
Administrador de extensiones	
Consola Ruby	
Opciones de componente	
Texturas fotográficas	

### 5.5.8. Ayuda

Es un recurso para solicitar ayuda e información sobre Sketchup, como también para configurar actualizaciones y comprobaciones.



## 5.6. Barra de herramientas de Sketchup

A continuación se procederá a explicar los comandos más importantes y más utilizados en el área de trabajo, que ayudan a un fácil uso y manejo del programa. Cabe destacar que el posicionamiento de las barras de herramientas es modificable y personalizable. Estas barras de herramientas se pueden separar haciendo clic y arrastrando la barra de título, como también se les puede cambiar el tamaño arrastrando las esquinas y se pueden volver a anclar en la posición que se prefiera en el margen del área de dibujo. Se puede acceder a las distintas barras de herramientas disponibles utilizando el submenú **Ver>Barras de Herramientas**.

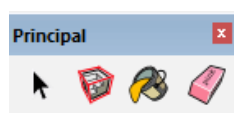
### 5.6.1. Conjunto grande de herramientas

Se trata de la barra de herramientas que contiene las opciones más usadas por los usuarios, es la barra mencionada anteriormente que se encuentra en el lateral izquierdo de la interfaz de la Figura 7. Está compuesta por la siguiente serie de grupos: Principal, Dibujo, Edición, construcción y cámara. Cada grupo se explicará de forma individual a continuación.



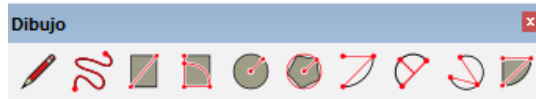
### 5.6.2. Barra de herramientas Principal

En este caso se agrupan las opciones más básicas, comúnmente utilizadas. En este conjunto de opciones se pueden distinguir: Seleccionar, crear componente, pintar y borrar.



### 5.6.3. Barra de herramientas de Dibujo

En esta sección aparecen las opciones relacionadas con la creación de diferentes formas y dibujos, como son: Línea, mano alzada, rectángulo, rectángulo girado, círculo, polígono, arco, arco de dos puntos, arco de tres puntos y circular.



#### 5.6.4. Barra de herramientas de Edición

Este conjunto contiene opciones que permiten editar y retocar las geometrías dibujadas. Las herramientas de esta barra son: Mover, Empujar/Tirar, Rotar, Sígueme, Escala y Equidistancia.



#### 5.6.5. Barra de herramientas de construcción:

Accediendo a esta barra de herramientas se pueden activar las opciones como son: Medir, Acotación, Transportador, Texto, Ejes y sección.



#### 5.6.6. Barra de herramientas de cámara

Esta sección tiene como objetivo activar utensilios para una correcta visión del objeto, con opción de cambiar los puntos de vista y la cercanía conforme lo requiera el usuario. Las opciones destacadas son: Orbitar, Desplazar, Zoom, Ventana de Zoom, Zoom Extensión y Previa.



Así pues, los grupos de barras de herramientas mencionados anteriormente son los que se ha utilizado en este caso para la modelización en Sketchup, ya que han sido elegidos y predefinidos, pero cada usuario puede complementar su barra de herramientas con los utensilios que desee según las funciones que requiera y el uso que les haga.

Como ya se ha dicho, las barras de herramientas pueden ser manipulables, se pueden elegir, de las series disponibles, las que se prefiera. A continuación se mencionan otros tipos de barras de herramientas que pueden servir y que están disponibles en la pestaña **Ver>Barra de herramientas**.

### 5.6.7. Barra de herramientas de Estilos

Los botones de esta barra de herramientas permiten elegir el modo de visualización del objeto, pudiendo contemplar el objeto de distintas formas: Rayos X, Aristas posteriores, Alambre, Líneas ocultas, Sólido, Sólido con texturas y monocromo.



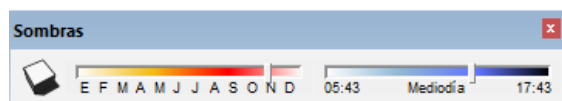
### 5.6.8. Barra de herramientas de vistas

Las opciones de la barra de herramientas de vistas permiten activar las vistas estándar de SketchUp, como son: planta, frontal, izquierda, derecha, posterior e isométrica. La opción de vista desde abajo no se incluye en esta barra de herramientas, pero se encuentra disponible en el menú Cámara.



### 5.6.9. Barra de herramientas de sombras

Esta barra de herramientas es utilizada para controlar las sombras. Esta barra dispone de dos barras regulables, la barra de la izquierda permite controlar los ajustes que se relacionan con la época del año, según el mes del año. La segunda barra permite ajustar la hora del día.



### 5.6.10. Barra de herramientas de sección

La barra de herramientas de planos de sección permite seccionar el objeto como se desee. Esta barra de herramientas incluye controles como son: añadir nuevos planos de sección, cambiar el efecto de corte de sección y mostrar los cortes de sección.



## 5.7. Moverse por el área de trabajo

Seguidamente se muestran distintas formas que permiten al usuario moverse por el área de trabajo y facilitar el manejo y movimiento en Sketchup.

- **Punto focal:** Cuando se está en el área de trabajo, para acercarnos a algún punto del que implique el movimiento del cursor, simplemente basta con colocar el cursor en el punto donde se quiera ampliar la imagen y mediante el “scroll” del ratón se aumenta la visión. La imagen en la pantalla se focalizará donde esté colocado el cursor dentro del área de trabajo.
- **Rotación:** Para activar el botón de rotación de forma automática simplemente se ha de presionar el “scroll” del ratón y la herramienta se habrá activado de forma instantánea. Con ello se podrá rotar la imagen.
- **Shift+scroll:** En este caso, para poder desplazarse por la pantalla de trabajo se puede pulsar el botón Shift del ordenador mientras se presiona el scroll del ratón. De esta forma, mientras ambos botones estén presionados durante el mismo tiempo, estará activada la opción de desplazarse por la pantalla.

## 5.8. Conceptos básicos y herramientas de dibujo

### 5.8.1. Líneas

En el momento de trazar una línea con la herramienta **Línea**, se ha de situar el cursor en el punto que se elija (el primer punto siempre será 0), por ejemplo el eje de coordenadas 0,0,0 (donde los 3 ejes interseccionan entre ellos), e ir en la dirección que se desee. Por ello, Sketchup tiene un sistema de referencias en donde se indica si la línea que se está dibujando es paralela al eje x, y o z, mostrándolo colorando la línea con el mismo color que el eje a la que se está en paralelo. Las siguientes imágenes muestran la relación de colores.

En el caso de haber seleccionado el punto inicial con una herramienta de dibujo activada, como línea, rectángulo, etc., si se precisa cancelar la herramienta y dejar de utilizarla, se ha de apretar el botón del espacio del teclado del ordenador. Se desactivará automáticamente la función.

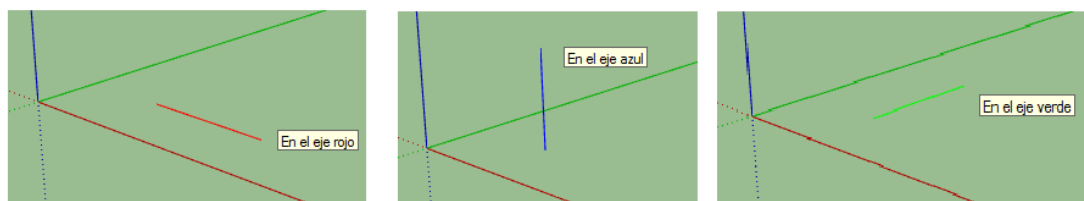


Figura 10. Realización de líneas en Sketchup

### 5.8.2. Valores mediante el cuadro de control de valores

Otra forma de crear líneas de forma precisa es utilizando cuadro de control de valores (CCV). Como se ha dicho anteriormente, en la esquina inferior derecha, nos marca constantemente las dimensiones del de la geometría que vamos a dibujar. Las unidades que marca están en metros. En el caso de dibujar una línea, se ha de introducir el valor correspondiente en la casilla de CCV.

En el caso de crear otras formas, como un cuadrado con el cuadro de control de valores, el procedimiento difiere un poco que en el caso de la creación de líneas. Si se quisiera hacer un cuadrado de 4m de largo y 6m de ancho, entonces en el comando se debería escribir de la siguiente forma, escribiendo primeramente la medida de anchura y después la de altura con separación de punto y coma: "4;6"

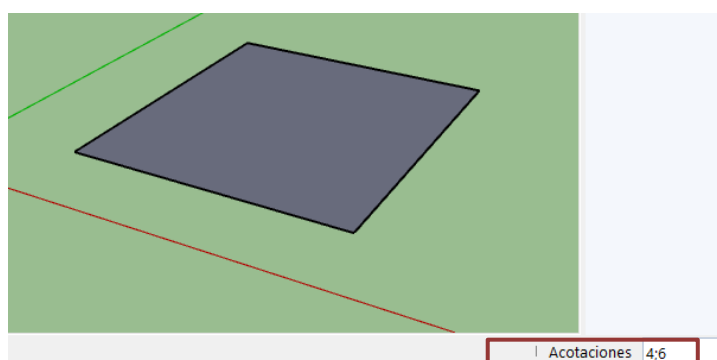


Figura 11.- Acotaciones en Sketchup

A la hora de realizar polígonos, círculos, arcos y otras formas, una vez se haya fijado el punto de origen con la forma activada, el cuadro de control de valores indica si se debe introducir el valor del radio (en el caso de círculo, polígonos), el valor de la longitud y del ángulo (en caso de dibujar arcos), y así constantemente con cada figura que queramos dibujar y bastará con introducir el valor que corresponda.

Radio	3,65m	Longitud	0,85m	Ángulo	49,9	Radio inscrito	1,57m
-------	-------	----------	-------	--------	------	----------------	-------

### 5.8.3. Borrar

Otra herramienta comúnmente utilizada es la de **Borrar**. Con la activación de este utensilio se permite borrar cualquier objeto, forma y dibujo. Para borrar cualquier geometría basta con activar la opción **Borrar** y seleccionar la forma que se desee eliminar. Cuando se selecciona una geometría, ésta se torna de color azul, lo que significa que está seleccionada y consiguientemente borrada. Para eliminar de forma más rápida y eficaz, simplemente se ha de presionar el botón izquierdo del ratón e ir seleccionando continuamente cualquier objeto que se quiera eliminar.



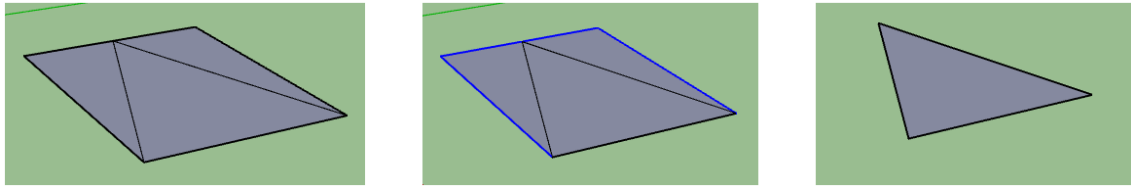


Figura 12. Herramienta Borrar

#### 5.8.4. Empujar/tirar

Esta herramienta permite arrastrar el área seleccionada en dirección perpendicular a la misma, de forma que modificas su tamaño mientras se tira de ella. Principalmente se usa para generar volúmenes a partir de superficies, o también para agrandar o disminuir un volumen creado.

En las siguientes series de imágenes se observa tres opciones distintas. En primer lugar, se genera un volumen a partir de una superficie rectangular, empujando un rectángulo de 4x6. Posteriormente se dibuja otro rectángulo en una de las caras del volumen anteriormente creado para después empujar perpendicularmente y modificar el volumen original. Por último, la última modificación, en la que se realiza un círculo en una de las caras con el fin de desplazar la superficie generada hacia el interior, a través del volumen.

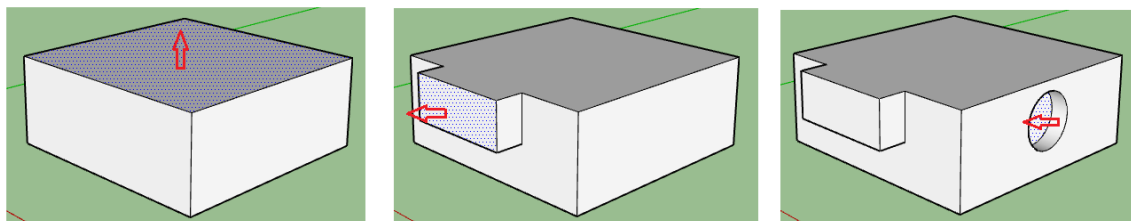


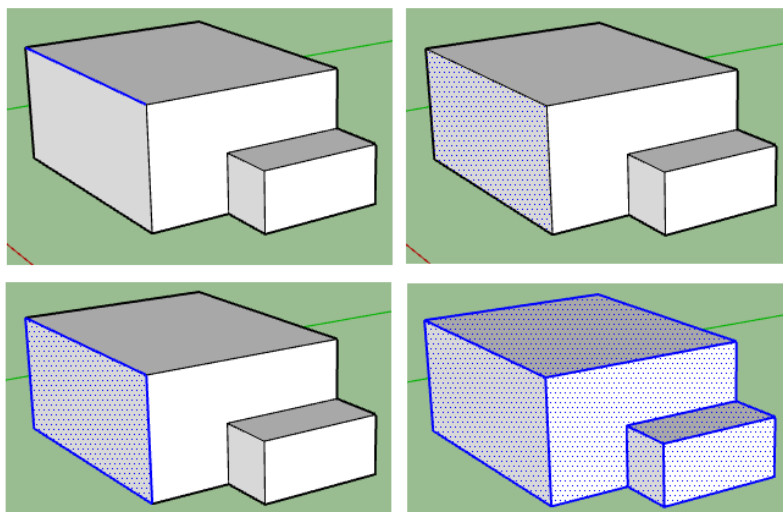
Figura 13. Herramienta de empujar; empujar hacia arriba, de lado y hacia el interior.

También se puede, como en la mayoría de las operaciones, utilizar el cuadro de control de valores (CCV) para, si se conoce el valor de alargamiento o retroceso, introducirlo en el comando.

#### 5.8.5. Seleccionar

Mediante el uso de esta herramienta, se puede seleccionar tanto aristas, caras, volúmenes y todo tipo de formas. Cuando se ha seleccionado un objeto, este queda marcado en azul.

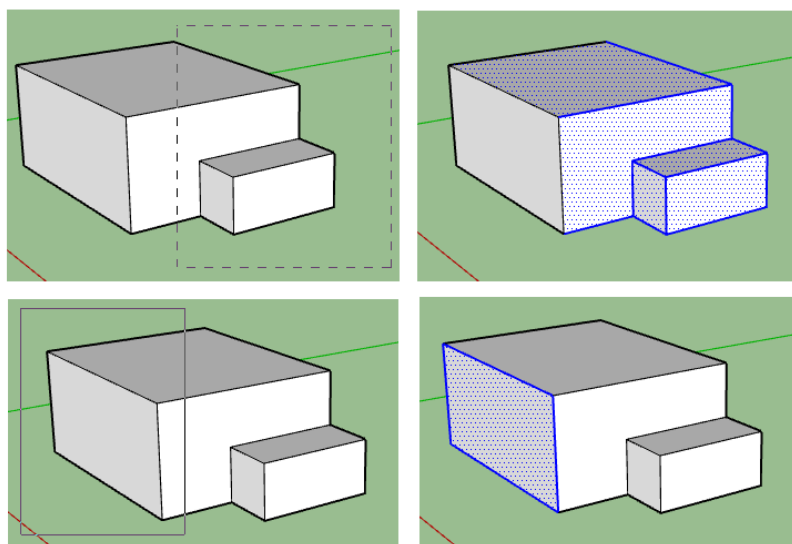
Cuando se hace clic una vez sobre un objeto, se selecciona el objeto que ha entrado en contacto con el cursor. Cuando se hace clic con el cursor dos veces sobre una superficie, la superficie y los bordes adyacentes se seleccionan. En cambio, si se clicca tres se selecciona la totalidad del mismo. Presionando el botón "Control" del ordenador se puede seleccionar más de un elemento a la vez, aparecerá el símbolo  $\pm$  al lado del cursor indicando que se está efectuando el comando.



**Figura 14.** Herramienta Seleccionar; Seleccionar arista, lado, lado con bordes adyacentes y objeto completo

Existe otro método fácil y rápido para seleccionar un objeto en su totalidad. Primeramente, se ha de presionar el botón izquierdo del ratón, comenzando por lado derecho (sin llegar a tocar) del objeto, entonces se formará un cuadrado con líneas discontinuas con el que se ha de estar en contacto directo con el objeto o el grupo de objetos que se quiera seleccionar. Así pues, los objetos que entren en contacto con forma cuadrada discontinua, sin necesidad de que queden completamente rodeados por ella, son los que permanecerán seleccionados.

En cambio, si se comienza seleccionando desde el lado derecho del objeto, se creará un cuadrado de líneas continuas, en la que se debe rodear el objeto que se quiera seleccionar para poder llegar a seleccionarlo. Si no se rodea el objeto en su totalidad, no quedará seleccionado.



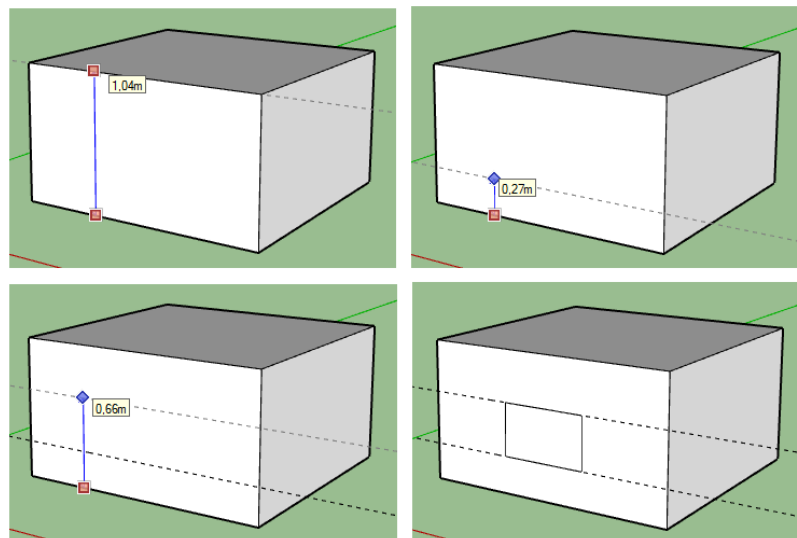
**Figura 15.** Herramientas seleccionar

Fuente: Propia

### 5.8.6. Medidas

Otra forma de dibujar es utilizando líneas de referencia con la opción de **Medir**. Para más facilidad de uso de las mismas se sigue utilizando la relación de colores explicada anteriormente para dibujar líneas paralelas a los ejes. La herramienta **Medir**, cuando se posiciona en un punto de origen encima de una línea, si se quiere transportar una línea paralela a la línea de origen, entonces se debe dibujar en perpendicular a dicha línea como en la Figura 16. Esta herramienta no solo es de gran utilidad para transportar líneas, también sirve para medir la distancia desde un punto de origen a otro.

En este caso, la medida aparece en color azul porque está paralela al eje vertical, predefinido con el color azul. Para desactivar las guías se ha de acceder al menú **Edición>Deshacer guías**, o simplemente con la herramienta **Borrar**.



**Figura 16.** Introducción a la herramienta de medidas. Opción de medir, generar guías o crear huecos.

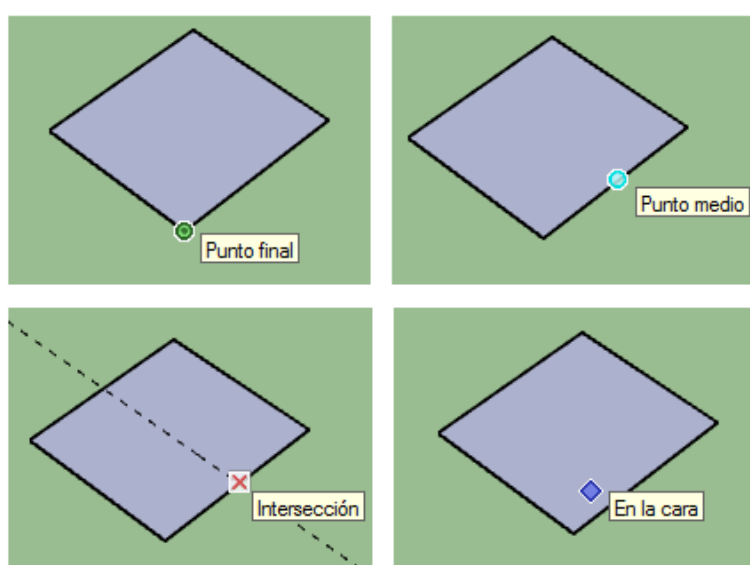
### 5.8.7. Posición en el objeto

Algo característico y útil de Sketchup es que utiliza un mecanismo de análisis geométrico que permite trabajar en 3D usando un dispositivo de entrada 2D. Esto permite deducir nuevos puntos significativos o condiciones geométricas e indicándolo a través de notas de ayuda que aparecen al lado del cursor. Mientras se está dibujando, cuando el cursor se posiciona encima una geometría, como una línea, una superficie, etc., te indica, mediante notas, encima de qué elemento se está y su posicionamiento en él. Por ejemplo, si se ha dibujado un cuadrado, cuando el cursor esté encima de él, indicará si está encima de una cara, o si se trata de una arista, y en qué punto de la arista está, utilizando colores específicos para cada tipo de inferencia.

Se hará referencia a los puntos y líneas.

**1. Puntos:** Sirven para señalar los puntos exactos donde el cursor se posiciona en el modelo.

- **Punto final:** Se identifica con el color verde e indica el extremo de la línea, arista o arco.
- **Punto medio:** Aparece de color azul e indica el punto medio en una línea o arista.
- **Intersección:** Aparece de color negro cuando el cursor está encima de una intersección entre guías y aristas o líneas.
- **En la arista:** Cuando el cursor se posiciona encima de la arista se identifica de color rojo con su respectiva nota indicativa.
- **En la cara:** El cursor se vuelve de color azul y de forma rectangular cuando se posiciona encima de una cara.
- **Centrado:** El cursor se vuelve de forma redonda y de color azul cuando está en el centro de una circunferencia o semejante (semicircunferencia, etc.).



**Figura 17.** Herramienta de posición; en el punto final, punto medio, en la cara e intersección

**2. Líneas:** Se crean líneas o direcciones en el espacio junto a notas de ayuda, ya sean continuas o discontinuas temporales.

- **Desde el punto:** Esta nota aparece cuando se toma como referencia un punto desde el que iniciar un nuevo trazado. Se forman siguiendo líneas discontinuas en el espacio (en dirección a cualquiera de los ejes de referencia) desde el punto inicial, de forma que sirve de guía para trazos con referencia ese punto. Adopta un color gris.
- **En el eje:** Cuando la línea es paralela o está alineada a algún eje, esta se dibuja en el color asociado al eje en cuestión.
- **Perpendicular:** Cuando la línea que se está trazando es perpendicular a una arista, cara o eje, se indica en color magenta y con su nota respectiva.
- **Paralela:** Cuando una nueva línea es paralela a una arista, cara o eje, se indica con color magenta y con su nota respectiva.

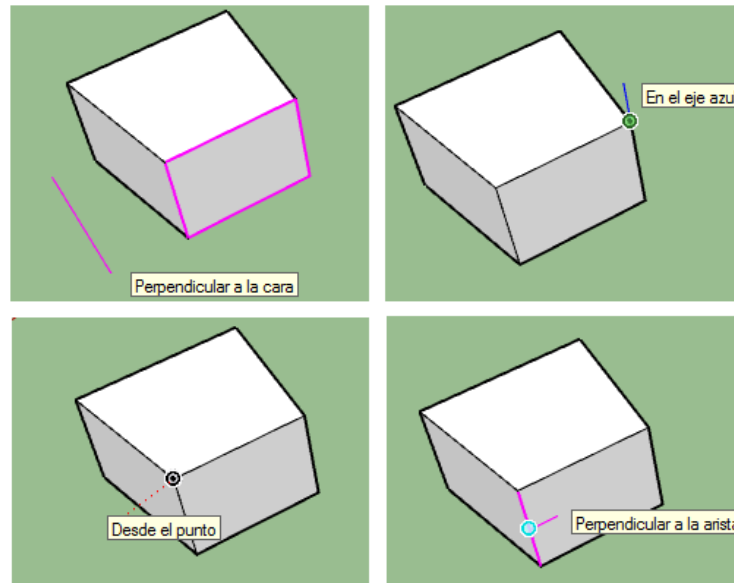


Figura 18. Herramienta de posición; Perpendicular, en el eje, desde el punto

#### 5.8.8. Mover

Esta herramienta se utiliza para mover un objeto seleccionado en cualquier dirección. Si en algún momento la dirección en la que se va a mover el objeto resulta ser paralela a alguno de los tres ejes, esta se tornará del color del eje al que se es paralela. La referencia de colores siempre está activa.

Como ya se ha dicho, esta opción permite mover la geometría seleccionada en cualquier dirección, con lo que se distingue de la opción de Tirar/empujar en la que solo puede mover de forma perpendicular. Cuando el cursor se posiciona sobre un objeto, este se torna de color azul, como si estuviera seleccionado. Se puede mover cualquier objeto, como puntos, aristas y caras.

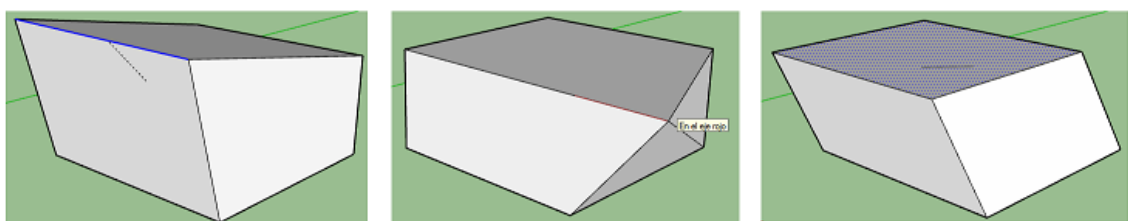
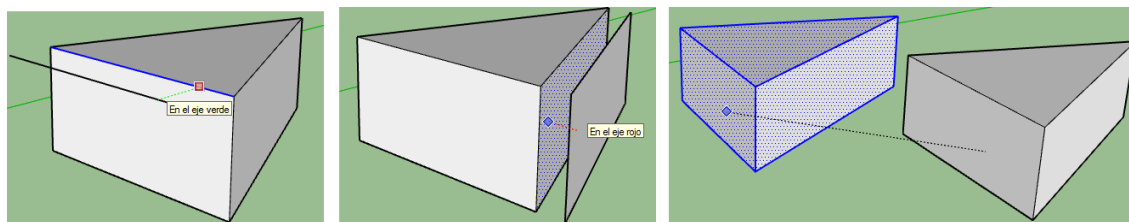


Figura 19. Herramienta de mover; Mover arista, mover punto, mover cara

Esta herramienta también permite crear una réplica de un objeto seleccionado para después moverlo. Mediante la opción **Mover** activada y con el botón “Control” del teclado pulsado, se selecciona cualquier objeto definido y se arrastra hacia una dirección. Se generará un objeto idéntico al original y que tendrá la misma orientación.



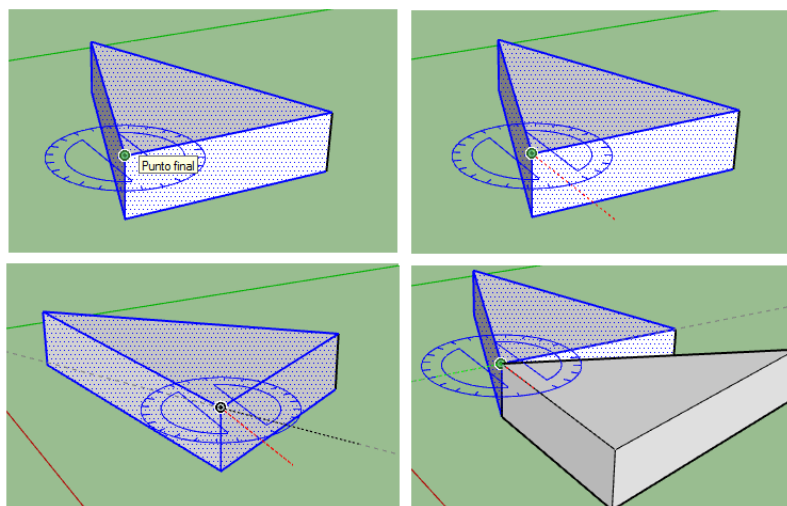
**Figura 20.** Herramienta mover; mover en el eje, mover objeto

### 5.8.9. Rotar

Esta medida sirve para rotar un objeto en cualquiera de los tres planos del entorno 3D. Antes de activar la herramienta se debe seleccionar el objeto que se desea rotar. Una vez se haya activado aparece el transportador de ángulos, que adquiere el color del plano al eje del cual es perpendicular, y debe ser orientado al eje correspondiente para que el objeto pueda rotar sobre ese mismo eje, mientras se mantiene pulsado el botón izquierdo del ratón una vez se ha colocado el transportador en un punto de rotación o punto desde el que empezará a girar la geometría.

Seguidamente se ha de mover el cursor desde el punto de partida en la dirección que representa el inicio de la rotación, es decir, con la ayuda de esa nueva línea se comenzará la rotación. Por último, si se mueve el cursor el objeto comenzará a girar alrededor del eje y punto de partida indicados.

Para crear nuevas réplicas del objeto seleccionado, se ha de pulsar el botón “Control” del teclado del ordenador, y un nuevo objeto idéntico al inicialmente seleccionado, será rotado en el mismo eje y dirección que el original.



**Figura 21.** Herramienta rotar; Posición del punto de inicio, eje de rotación y girar, o duplicar

### 5.8.10. Escalar

Esta función sirve para escalar un objeto, modificando sus dimensiones de forma proporcionada. Para ello, se ha de seleccionar el objeto que se quiera escalar, para después activar la herramienta **Escalar**. El objeto seleccionado quedará rodeado de unos anclajes en cada esquina y puntos medios.

Dependiendo de qué anclaje se elija, la figura variará de una forma u otra (solo se puede seleccionar un anclaje). En el ejemplo de la siguiente imagen se modificará el cubo usando un vértice superior. En el comando de control de valores CCV se observa la escala en valor absoluto.

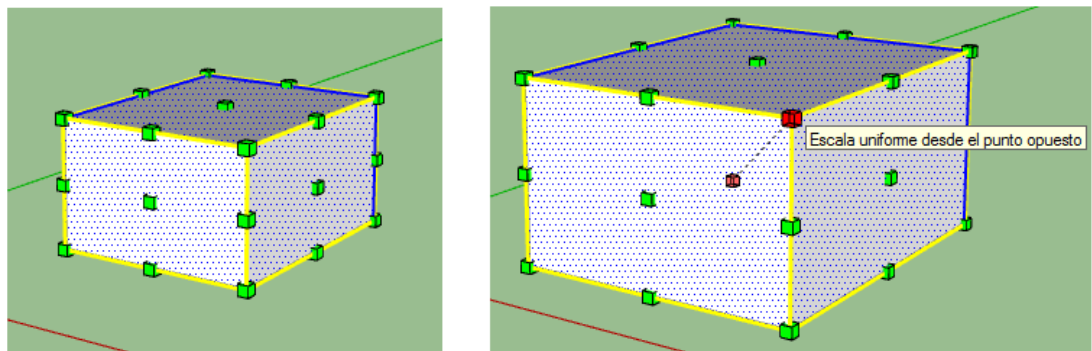


Figura 22. Herramienta escalar; escalar objeto uniformemente desde el punto opuesto

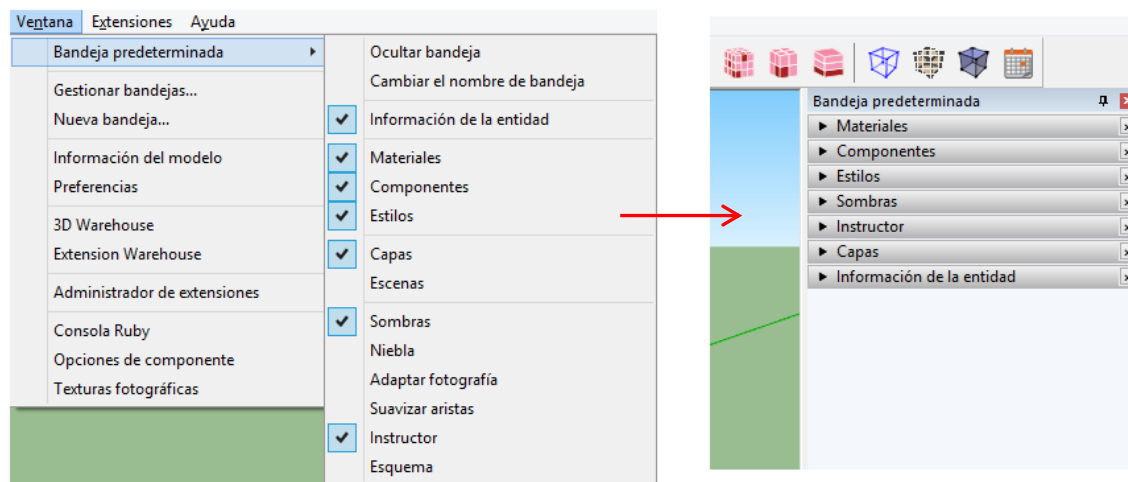
## 5.9. Bandeja predeterminada

Sketchup dispone de “trays” desde donde se pueden manipular y configurar la visualización de diversos elementos dentro del espacio de trabajo. Estas bandejas contienen barras que te permiten manipular diversas paletas como capas, materiales, información acerca de entidades, sombras y estilos, entre otros.

En las versiones antiguas de Sketchup, se encontraban cuadros de diálogo conteniendo herramientas como información de la entidad, materiales, componentes, estilos, capas o escenas ubicadas en cualquier parte de la pantalla. Con el fin de optimizar el flujo de trabajo, Sketchup los ha reubicado dentro de la bandeja predeterminada. Esta bandeja se puede personalizar, yendo al menú **Ventana>Bandeja predeterminada>Mostrar bandeja**. Todos los cuadros de diálogo disponibles dentro de la bandeja predeterminada son: Información de la entidad, Materiales, Componentes, Estilos, Capas, Escenas, Sombras, Niebla, Adaptar fotografía, Suavizar aristas, Instructor y Esquemas.

La nueva bandeja predeterminada personalizada se ubicará en el lado derecho del entorno de trabajo, quedando así un menú desplegable con las opciones que vayamos añadiendo. En mi caso, la bandeja predeterminada dispone de las siguientes entidades: Materiales, Estilos, Componentes, Sombras, Instructor, Capas, Información de la entidad. Cada usuario formará su bandeja con los cuadros de diálogo que utilice con mayor frecuencia.

A modo de recomendación, para los nuevos usuarios que utilicen Sketchup por primera vez, pueden guiarse con el **Instructor**. Este abre un cuadro de diálogo explicando el funcionamiento de la herramienta de Sketchup que se esté usando. Puede facilitar el aprendizaje y la comprensión de la tarea que se esté llevando a cabo.



**Ilustración 23.** Herramientas de la bandeja predeterminada de Sketchup

### 5.9.1. Estilos

Sketchup nos permite seleccionar varias opciones de estilo para visualizar los planos de nuestro dibujo, esto se consigue con la herramienta **Estilos**. Para acceder al pliegue de estilos se ha de acceder a **Ver>Estilo de cara/arista...** Se abrirá un menú desplegable con los estilos disponibles. En este caso se entrará en detalle sobre las opciones del estilo de cara, ya que interesa y ofrece más posibilidades a la hora de realizar dibujos. Otra forma de acceder a esta entidad es a través de la bandeja predeterminada, a través de **Ventana>Bandeja predeterminada**. Se activará una nueva pestaña de **Estilos**, si no estaba activada, en la bandeja de entrada personalizable en el lado derecho del entorno de trabajo.

Cuando se accede a **Estilo de cara** se presentan varias opciones para ayudar la visualización de la geometría, y según la situación y las necesidades servirán una u otra. La opción más usada es el estilo con **Rayos X**.

Con la opción de **Rayos X** se puede ver a través de la imagen todos los componentes que la forman, líneas, superficies... Se suele usar para verificar que todo está según lo previsto y no hay errores ni geometrías innecesarias. El estilo **Alambre** permite ver el contorno de la figura, mostrando la estructura del objeto, como si fueran líneas. Después están otros estilos menos frecuentados como **líneas ocultas**, monocromo o **sólido con texturas**. En este caso, el estilo de cara que se usa por defecto es el tipo **sólido**. Cada usuario puede tener preferencias a la hora de escoger un estilo u otro



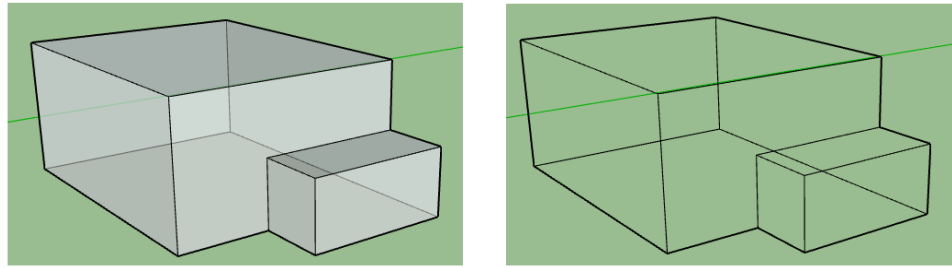


Figura 24. Herramientas de estilo; estilo rayos X y alambre

En la misma pestaña de **Ver** existen otras herramientas de visualización el objeto, como la opción **Sombras**, que muestra las sombras que se proyectan en el dibujo en función del día y del mes que se ha indicado en el Sketchup, **Niebla**, **Geometría oculta**...

### 5.9.2. 3D Warehouse

En Sketchup los usuarios tienen posibilidad de descargar modelos ya diseñados por otras personas en el 3D Warehouse de Sketchup. 3D Warehouse es un directorio en línea de modelos 3D. Una vez en dentro, se pueden buscar modelos 3D y descargarlos en el ordenador [18].

En la web oficial de 3D Warehouse las personas diseñan manualmente modelos mediante Sketchup y posteriormente las comparten en la web. Cualquiera puede hacer, modificar y volver a cargar contenido desde y hacia el almacén 3D de forma gratuita. Los modelos se pueden descargar directamente en el programa sin tener que guardar nada en el almacenamiento del ordenador, siendo el tamaño del archivo de hasta 50 MB. En la parte superior de la interfaz está la barra de búsqueda de objetos en 3D.

Se buscará, por ejemplo, el objeto “Puerta (door)”. Al activar el menú de búsqueda aparecerán todas las opciones con el nombre indicado y, para descargar el objeto más apropiado, se clicará la opción “Descargar modelo” que aparece en el lado derecho inferior de cada recuadro que contiene cada modelo.

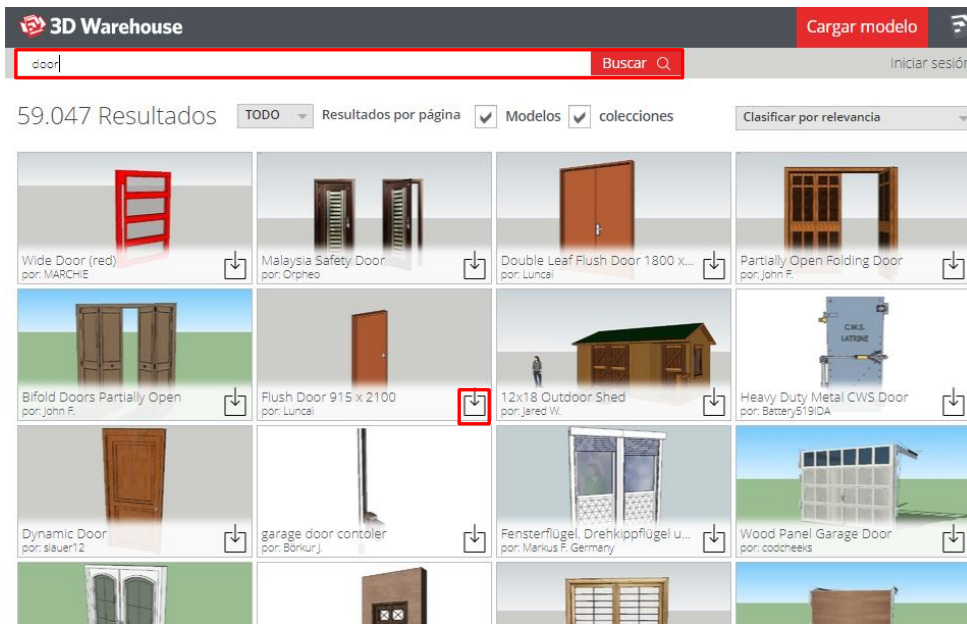


Figura 25. Descarga de componentes desde la 3D Warehouse

Una vez descargado el objeto, se ha de acceder a la herramienta **Ver>Bandeja predeterminada>Componentes**. Una vez que la herramienta componentes se haya desplegado en el lado derecho del área de trabajo, como se ve en la Figura 26, se buscará el elemento descargado en nuestro modelo accediendo a la pestaña **en el modelo** (recuadro con una casita). Todos los componentes que se vayan descargando directamente del entorno 3D Warehouse se irán acumulando en nuestro modelo.

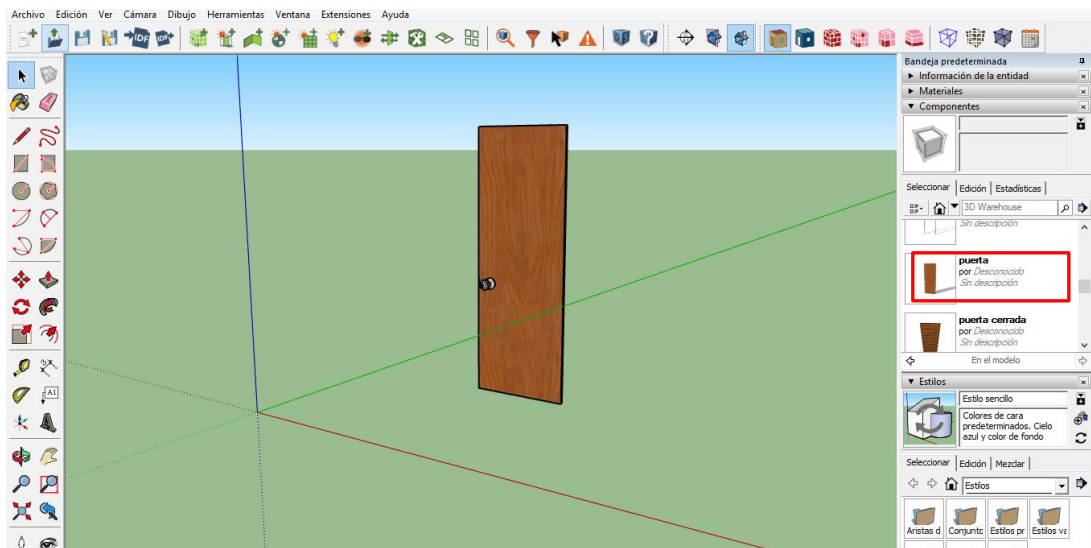


Figura 26. Vista del componente puerta en el entorno Sketchup.

Hay otras vías para acceder al entorno 3D Warehouse. Una de ellas es a través del conjunto de herramientas **Almacén**. Se accede a ella mediante la opción **Ver>Barra de herramientas**. Mediante la primera pestaña de esta barra de herramientas se puede acceder directamente a 3D Warehouse, apareciendo una ventana emergente.



Otra forma más directa es accediendo al menú **Archivo>3D Warehouse**, o directamente accediendo a los componentes, explicado anteriormente, existe una barra de búsqueda de 3D Warehouse, como se ve en la Figura 26.

### 5.9.3. Componentes

Si un elemento se repite con frecuencia en el modelo, es preferible crear un componente. Es posible crear nuevos componentes a partir de dibujos propios. Cuando se modifica un componente, se modificaran todas las copias que se han hecho de él, de forma que es mucho más fácil de actualizar o corregir. Para crear un componente de un dibujo creado, primero se ha de seleccionar la geometría y clicar el botón derecho para acceder al botón **Crear componente**. Seguidamente se abrirá una pantalla donde se deberá escribir el nombre y definición (opcional) sobre el objeto. Como se ha mencionado en el apartado de **3D Warehouse**, para incorporar la pestaña de **Componentes** en la bandeja predeterminada, se ha de acceder a la herramienta **Ver>Bandeja predeterminada>Componentes**. Entonces se habrá añadido la nueva pestaña en nuestra bandeja desplegable.

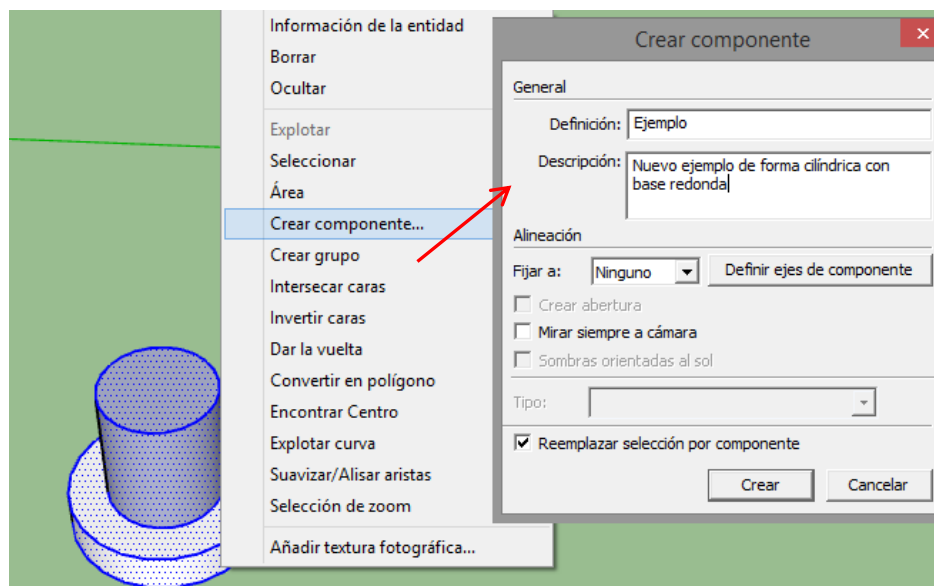


Figura 27. Herramienta crear componente de Sketchup

### 5.9.4. Grupos

En Sketchup, los grupos son entidades que pueden contener otras entidades. El objetivo es combinar varias entidades en una sola para llevar a cabo operaciones de forma más rápida y sencilla (como mover, copiar) y sin necesidad de “arrastrar” el resto del modelo. Para crear un grupo basta con seleccionar la geometría que vaya convertirse en grupo, pulsar el botón derecho del ratón y seleccionar **Crear grupo**. De esta forma los elementos que queden dentro del grupo quedan aislados del resto del modelo, pudiendo trabajar con ellos de manera autónoma. Para editar alguna parte del grupo basta con hacer doble clic en él con la herramienta seleccionar.

Si se desea desagrupar la geometría en un grupo, es necesario explotar ella. Se ha de seleccionar el grupo, pulsando el botón derecho del ratón y seleccionando **Explotar** en el menú contextual. Los bordes y las caras que se agruparon no se agrupan más.

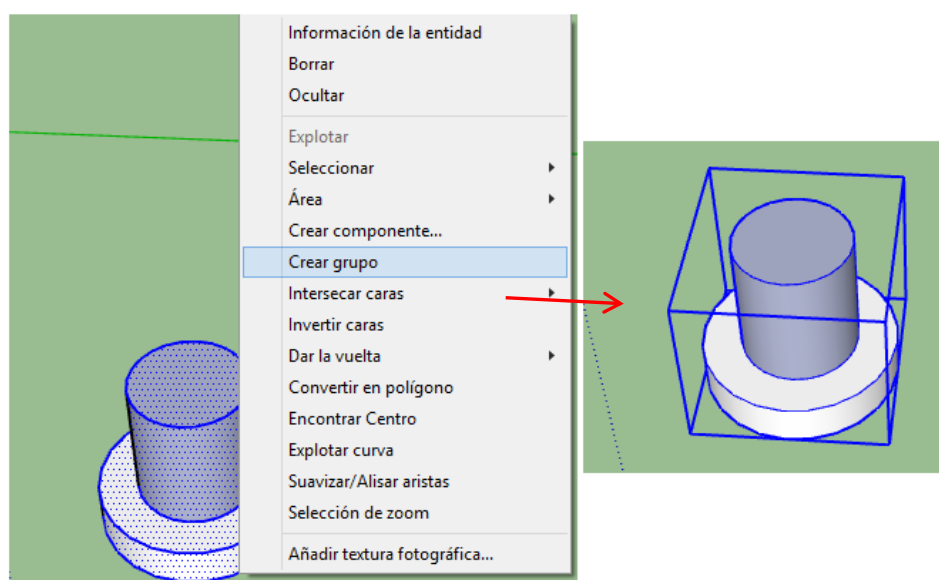


Figura 28. Herramienta crear grupo de Sketchup

### 5.9.5. Materiales

Existe la posibilidad de asignar materiales a los objetos dibujados. La función es indicar de qué material está compuesta cada figura, añadiendo realismo a la imagen y mejorando la comprensión visual. Para acceder a esta herramienta, es posible a través de la bandeja predeterminada, como en el caso de los componentes, se ha de abrir menú **Ver>Bandeja predeterminada** y clicar sobre la opción **Materiales**. A la derecha del entorno de trabajo se añadirá, si no estaba activada, la nueva pestaña al menú de la **Bandeja predeterminada**.

Si entramos en la pestaña podemos buscar el material que queramos asignar a cada parte de nuestro dibujo. Por ejemplo, si tuviéramos una pared y quisiéramos asignarle el material de “Hormigón” se debería acceder al menú desplegable que contiene todas las opciones de materiales y, posteriormente, asignarle el material a esa pared dibujada, clicando encima de ella

una vez seleccionado el material de hormigón. Los materiales se pueden editar yendo a la pestaña **Edición**, pudiéndose cambiar el color, la forma, la textura, etc.

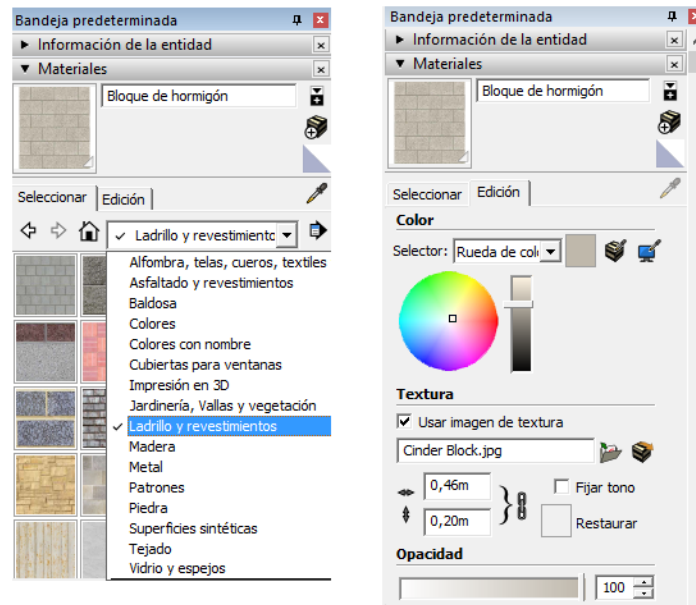


Figura 29. Información de materiales en la bandeja predeterminada

## 6. Introducción a Openstudio

OpenStudio es un conjunto de aplicaciones que permiten modelar edificios y simularlos con EnergyPlus, apto para plataformas como Windows, Mac y Linux. Este permite desarrollar un modelo del edificio a través de un interfaz gráfico, como es en este caso Sketchup. Están desarrolladas por NREL (Laboratorio Nacional de Energías renovables de EEUU) y son accesibles en Código Abierto.

Como se ha dicho anteriormente, Openstudio es un plugin gratuito de Sketchup, sirviendo de interfaz entre Sketchup y EnergyPlus. Así pues, mediante este plugin se aprovecha la capacidad de generar geometrías en el entorno de Sketchup para definir el modelo térmico del edificio, mediante geometrías y zonificaciones simplificadas. También nos permite configurar otros detalles del modelo como cerramientos, horarios, entornos del edificio, etc., ya sea directamente en el entorno Sketchup, mediante las herramientas de Openstudio, o accediendo a **Openstudio Application**.

**Openstudio Application** es un programa independiente que permite seguir trabajando en el modelo que se ha generado en el entorno de Sketchup e incorporar más elementos que configuran el modelo de simulación como: datos climáticos, materiales y cerramientos, acristalamiento, horarios, cargas internas, consignas, ventilación, iluminación, etc., para después generar los resultados y simulaciones apropiados.

### 6.1. Descarga e instalación

Openstudio es un plugin gratuito, y a instalación de este software se realiza a través de la página oficial. Una vez en dentro encontraremos en la parte superior la pestaña “Downloads”. En esa pestaña aparece la versión más reciente para ser instalada, pero se pueden descargar versiones anteriores en la pestaña “Releases”. Normalmente siempre hay relaciones de versión entre Sketchup y Openstudio, se suelen descargar las versiones más recientes para que ambos funcionen correctamente. Para la ejecución de este proyecto se ha descargado la versión 2.1.1. de Openstudio.

### 6.2. Barra de herramientas de Openstudio

Como se ha mencionado anteriormente, las herramientas de Sktechup pueden coexistir con las de Openstudio. En este caso, en lo que se refiere a barras de Openstudio, se puede acceder al **Openstudio Tools** i al **Openstudio Rendering Toolbars**, explicadas a continuación.

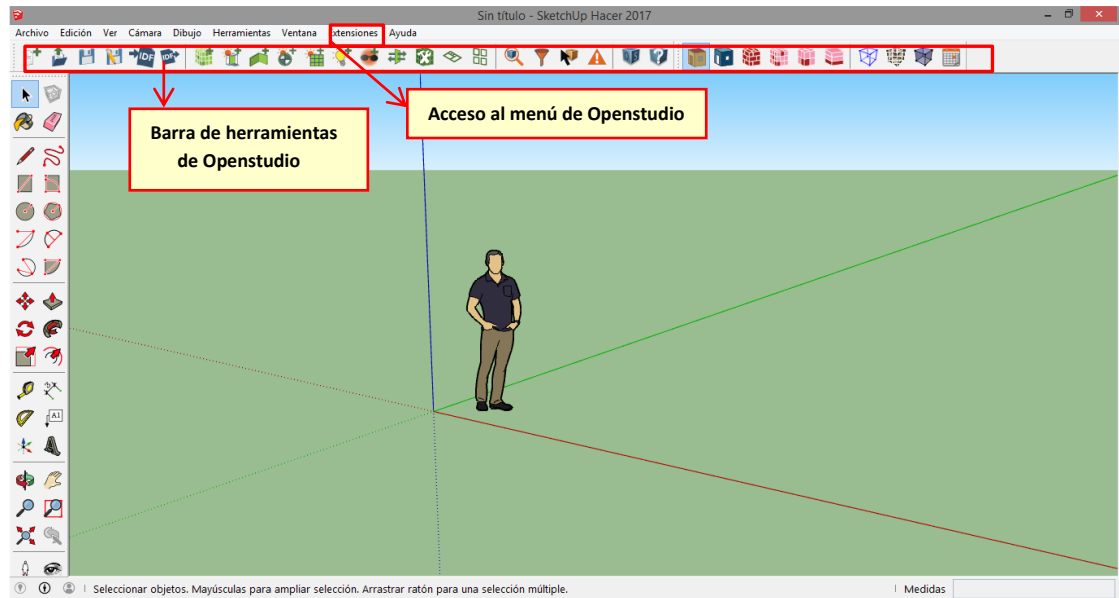
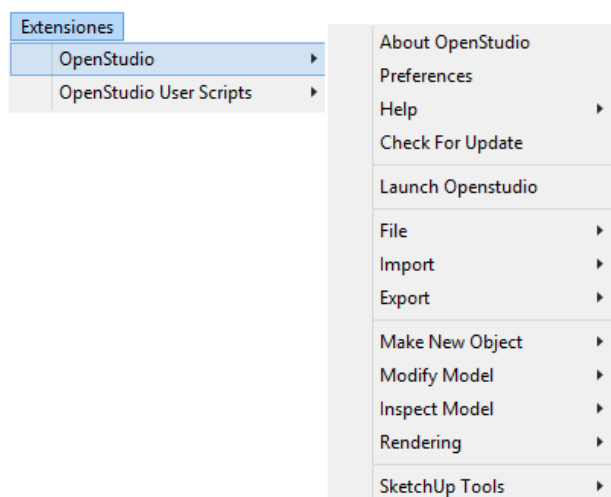


Figura 30. Bandeja inicial Sketchup con herramientas de Sketchup y Openstudio.

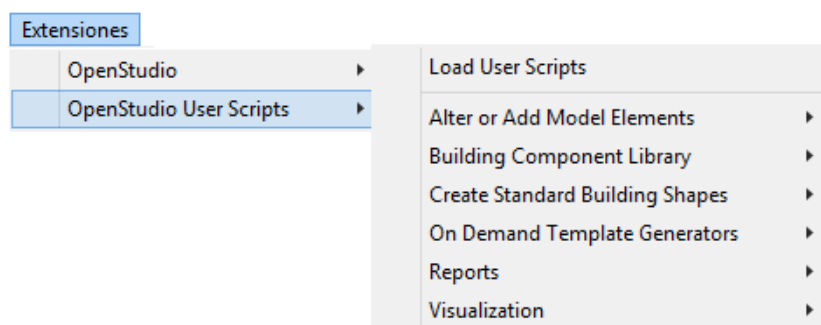
### 6.2.1. Extensiones

Como se ha mostrado en la Figura 30 se accede al menú de Openstudio mediante la pestaña **Extensiones**, ubicada en la misma barra de menús de Sketchup. En esta pestaña se abre una lista donde se encuentran distintos comandos únicamente relacionados con Openstudio. Al acceder a la pestaña, primeramente aparecen dos elementos: Openstudio y Openstudio User Scripts.

- **Openstudio:** En esta primera opción se abre una lista desplegable que contiene utensilios clasificados en función de su utilidad. Es decir, la lista está formada por grupos. El primer grupo incorpora herramientas como Ayuda, actualizaciones, Información sobre el programa instalado y preferencias. De forma independiente aparece una herramienta para acceder a la aplicación de Openstudio. El siguiente grupo está compuesto por opciones de gestión del fichero OSM (Nuevo, Abrir, Guardar, importar, exportar). Después se encuentran opciones relacionadas con la creación de diferentes objetos (Espacios, Sombras, Particiones Interiores, Iluminación) la creación o modificación del modelo, y una serie de opciones relacionadas con tipos de renderizado, visto en la sección de Sketchup. La última opción de la lista sirve para acceder a algunas herramientas de Sketchup.



- **Openstudio User Scripts:** En la segunda opción de la ventana Extensiones aparece esta herramienta. Cuando se accede a **Openstudio User Scripts** se abre una ventana con una lista desplegable. Una de las opciones más usadas es la opción para Alterar o modificar elementos, en ella se encuentran herramientas útiles como: Añadir Zonas térmicas para espacios que no las tienen, añadir control de sombreado, asignar nuevos espacios en zonas construidas, renombrar zonas térmicas en base a los nombres de los espacios, entre otras. Una segunda opción de la lista de User Scripts sirve para reconducir directamente a la biblioteca de componentes. La siguiente herramienta más usada, **On demand template generators**, se usa para añadir nuevas plantillas, como espacios o construcciones. Finalmente están las opciones menos frecuentes como Visualización, Reporte y creación de formas de vivienda estándar.



### 6.2.2. Openstudio Tools

Contiene las herramientas relacionadas con opciones de gestión de ficheros Openstudio (.osm), modelado e información de objetos. Las opciones que se muestran, predispuestos de izquierda a derecha de la barra de **Openstudio Tools** son: Nuevo fichero .osm, Abrir fichero .osm, guardar fichero .osm, guardar como .osm, Importar .idf, exportar .idf, crear recinto nuevo, crear sombra nueva, crear una nueva partición interior, crear un sensor de iluminación, crear un mapa de iluminación, crear un sensor de deslumbramiento, combinación de superficies, asignar atributos,



crear espacios desde plantas, proyectar geometría, inspector, buscar superficies, información de superficies, mostrar errores, acceso a Openstudio y ayuda de Openstudio.



### 6.2.3. Herramientas de gestión de archivos

**New Openstudio model:** Esta herramienta cierra su modelo actual de OpenStudio y crea uno nuevo. Una vez dada esa orden, se abre una pantalla o cuadro de diálogo que permite seleccionar elementos de plantilla como construcciones, tipos de espacio, horarios, etc. Este cuadro de diálogo también está disponible en la pestaña **Extensiones>Openstudio User Script>On Demand Template Generator>Space Types and Construction Set Wizard**.

**Open Openstudio model:** Esta función se usa para cerrar el modelo actual de Openstudio y abrir un archivo Openstudio (.osm). En este caso no se cierra el archivo de Sketchup actual, simplemente carga otro fichero de Openstudio en él. OpenStudio 0.6.0 introdujo un formato OSM actualizado. No abrirá los archivos OSM creados con OpenStudio 0.4.4 o anterior, y es posible que no abra algunos archivos creados con OpenStudio 0.5.0.

**Save Openstudio model:** Esta herramienta guarda el modelo de Openstudio como un archivo Openstudio (.osm). Si se guarda el archivo OSM y luego se guarda el modelo Sketchup, el modelo Sketchup mantiene un enlace con el modelo OSM. Todo el contenido energético del modelo se guarda en el archivo OSM, ya que Sketchup es de carácter constructivo. Si se cierra y se vuelve a abrir un archivo SketchUp vinculado (.skp), se recargará el contenido del archivo OSM. Cuando se guarda un archivo de Openstudio, su extensión debe finalizar en “.osm”. Si no tiene esa extensión, Openstudio no abrirá el archivo, pero puede cambiarlo de forma manual para poder abrirlo.

**Save Openstudio model as:** Esta herramienta guarda el modelo Openstudio como un nuevo archivo OSM y actualiza el archivo SketchUp para vincularlo al archivo OSM recién guardado. Es necesario que el archivo del modelo Openstudio tenga una extensión finalizada en “.osm”, sino no se guardará, aunque se puede modificar manualmente.

**Import EnergyPlus idf:** La extensión “.idf” hace referencia a los archivos de datos de entrada de EnergyPlus. Esta herramienta funciona de forma similar a la herramienta de Importar modelo Openstudio. Cuando se importa un modelo IDF, el modelo OSM actual se cierra y se crea uno nuevo del IDF. Cuando se guarda el modelo IDF después de haberlo importado, se pide que sea guardado como un archivo OSM. Para mantener el archivo en formato IDF, se ha de acceder al menú **Extensiones>Openstudio>Export>Export EnergyPlusIdf**. En contrapartida, cuando se exporta un archivo IDF desde Openstudio, se pierden o quedan alteradas las geometrías, particiones interiores, entre otros objetos que son exclusivos de un modelo Openstudio.

De forma similar a la herramienta Importar modelo Openstudio, la herramienta importar IDF puede usarse para importar contenido adicional al modelo OSM actual. En este caso, el modelo

OSM permanece abierto y esta herramienta agrega contenido adicional del archivo IDF previamente guardado. Los contenidos que se pueden importar de un archivo IDF son:

- Construcciones(incluido materiales)
- Horarios

Para acceder a esta herramienta se ha de ir al menú **Extensiones>Openstudio>Import>Import EnergyPlus Idf**.

**Export EnergyPlus idf:** Esta herramienta sirve para exportar un archivo IDF desde un modelo OSM. Como se ha mencionado en el apartado anterior algunos datos del modelo se pueden perder al exportar un IDF porque el formato del archivo OSM admite muchos objetos que no están disponibles en EnergyPlus. En el caso de exportar un modelo OSM a un archivo IDF y luego lo reimporta en Openstudio, los elementos no admitidos desaparecerán. Para un buen funcionamiento y una buena praxis se recomienda trabajar siempre sobre un archivo OSM, absteniéndose de injerencias.

**Import Openstudio model:** Esta herramienta tiene una funcionalidad similar a la herramienta Abrir modelo Openstudio. Cuando se importa un modelo OSM, el modelo actual se cierra y se carga uno nuevo. Antes de abrir el nuevo modelo, se pide un nuevo nombre para guardar el archivo actual. Una vez ya se ha abierto el archivo importado, si se guarda el modelo OSM, se le pide que sea guardado con un nuevo nombre y distinto al fichero original. Con esto se impide sobrescribir sobre el archivo original.

Para poder activar la herramienta de importación de modelo se puede hacer desde el menú **Extensiones>Openstudio>Import>Import Openstudio model**. Esta también puede utilizarse para importar contenido adicional al modelo, a partir de un archivo OSM previamente guardado. Los contenidos que se pueden importar desde un archivo OSM son los siguientes:

- Construcciones
- Horarios
- Cargas espaciales

**Export Openstudio model:** Esta herramienta permite exportar el archivo OSM, de forma que se guardará a parte y si se continúa trabajando sobre el archivo original, no se realizarán cambios en el archivo exportado, únicamente en el archivo original. Para activar la herramienta se ha de acceder al menú **Extensiones>Openstudio>Export>Export Openstudio model**.

## 6.3. Creación de modelo

### 6.3.1. Selección de plantilla

Las plantillas se utilizan para obtener datos sobre construcciones, cargas, zonas climáticas, equipos eléctricos, entre otros. No se pueden importar geometrías con las plantillas, solamente información. Se puede acceder mediante **Extensiones>Openstudio User Scripts>On demand Template Generators>Space type and construction set wizard**. Otra forma más directa de acceder es mediante la herramienta **New Openstudio model from Wizard**. Se abre un cuadro de diálogo con distintas barras de selección de construcción, horarios, etc., para añadir al modelo actual.

Las plantillas pueden ser útiles para obtener valores para la simulación energética ya prescritos y normalizados, que de otra manera deberíamos escribir nosotros mismos. Simplemente se ha de elegir el modelo que más se asemeje al edificio objeto. Como en este ejemplo puede ser un edificio de escuela, se escogerá de todas las opciones que aparecen en la lista **Space types**, la definición de **Secondary School**. Cuando se acepta esa plantilla, se descargan datos relacionados con una escuela predefinida, con lo que se obtendrán valores ya definidos de horarios, construcciones, cargas internas, etc. Con la plantilla, se puede simplificar el trabajo, pero no quiere decir que el edificio real se comporte como dicha plantilla, por lo que en algunos aspectos puede que sea importante describir los parámetros propios y únicos del edificio.

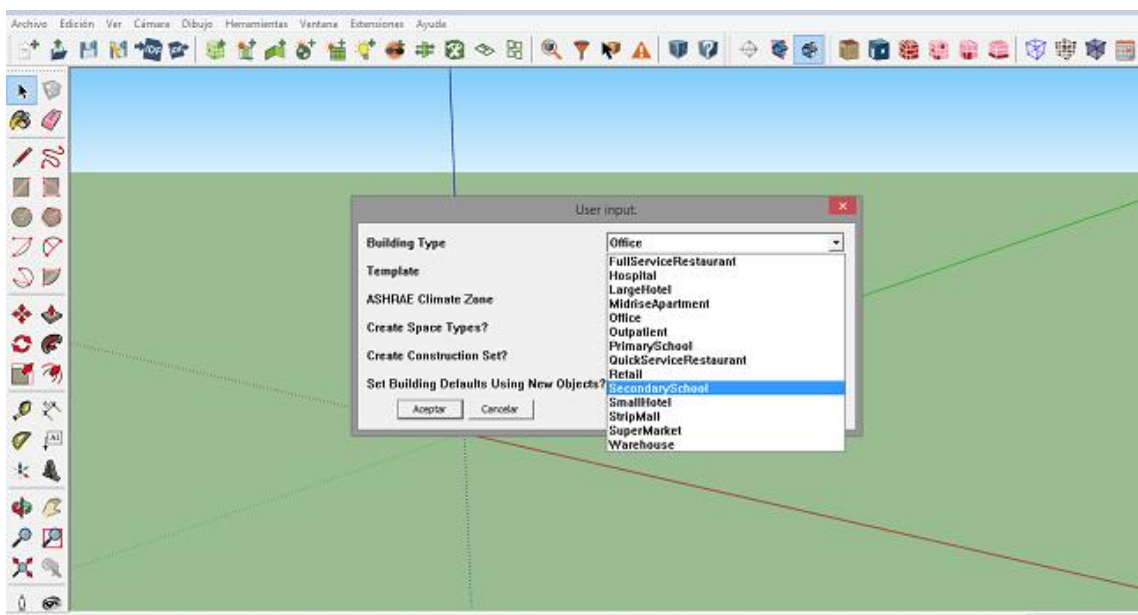


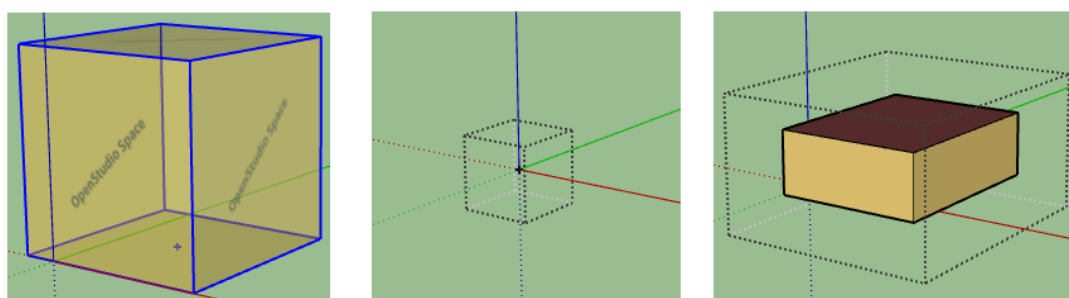
Figura 31. Selección de la plantilla.

**New space** Con esta herramienta se crea un espacio nuevo en Openstudio. Para ello, se ha de activar la herramienta y hacer clic en el punto del área de dibujo donde quiera colocar el origen de la zona. El espacio propio de Openstudio significa otro nivel en el espacio de trabajo de Sketchup.

Para crear un nuevo espacio con la herramienta **New space** se ha de seguir los siguientes pasos:

1. Con la herramienta **New space** activada, se hace clic en el punto donde se quiera crear el nuevo espacio.
2. Para poder editar ese nuevo espacio, se ha de hacer doble clic en él.
3. Se procede a dibujar la base y la geometría del nuevo espacio.

Una vez que dentro de un espacio, se puede dibujar cualquier superficie, como también se pueden agregar grupos de sombreados, particiones interiores, etc. También se pueden generar nuevos espacios copiando y pegando otros espacios previamente creados.



**Figura 32.** Creación de un nuevo espacio con la herramienta “Crear nuevo espacio”.

Para la realización de nuevos espacios, en este trabajo se ha utilizado la herramienta **Create spaces from diagram**.

### 6.3.2. Creación de espacios

Un espacio creado en Sketchup representa la forma espacial del edificio que queremos simular. Este espacio está formado por las superficies que lo delimitan, como serían en la realidad el conjunto de paredes, techos, particiones interiores, etc. Cuando se describe la geometría de las superficies de construcción, utilizando el motor de cálculo EnergyPlus, todas las superficies son representadas como un plano infinitesimalmente delgado, es decir, sin ningún grosor. La propiedad de espesor de los materiales asignados a la superficie del edificio solo se aplica a la transferencia de calor y masa térmica, y no a la geometría. Por lo tanto, una vez que se haya colocado cada superficie en el área de dibujo, el espesor del material, determinado en **Openstudio Application** (explicado más adelante), no tendrá impacto en el volumen de la zona, la altura del techo, el área del piso, el sombreado o iluminación natural.

Debido a que la geometría EnergyPlus se representa con un plano delgado, cualquier dimensión interna, externa o central es la adecuada para usar. Normalmente, en la mayoría de los edificios, la diferencia entre dimensiones interior y exterior frente a la línea central es pequeña, por lo que el usuario puede usar las dimensiones que crea convenientes, ya que no habrá demasiado impacto en los resultados. Se sugiere usar las dimensiones del edificio exteriores para las superficies exteriores y las dimensiones de la línea central para las superficies interiores. Esto

produce una geometría totalmente conectada con una cantidad apropiada de área, volumen de zona y masa térmica del modelo. En el caso de estar modelando un edificio antiguo, con paredes muy gruesas, se recomienda utilizar la línea geométrica central para dibujar todas las superficies, ya que si se utilizaran los bordes externos habría demasiada masa, y el contrario pasaría si se utilizaran los bordes interiores. Utilizando la línea central para definir la geometría se divide la diferencia entre límites externos e internos y se acerca a la cantidad correcta de masa térmica.

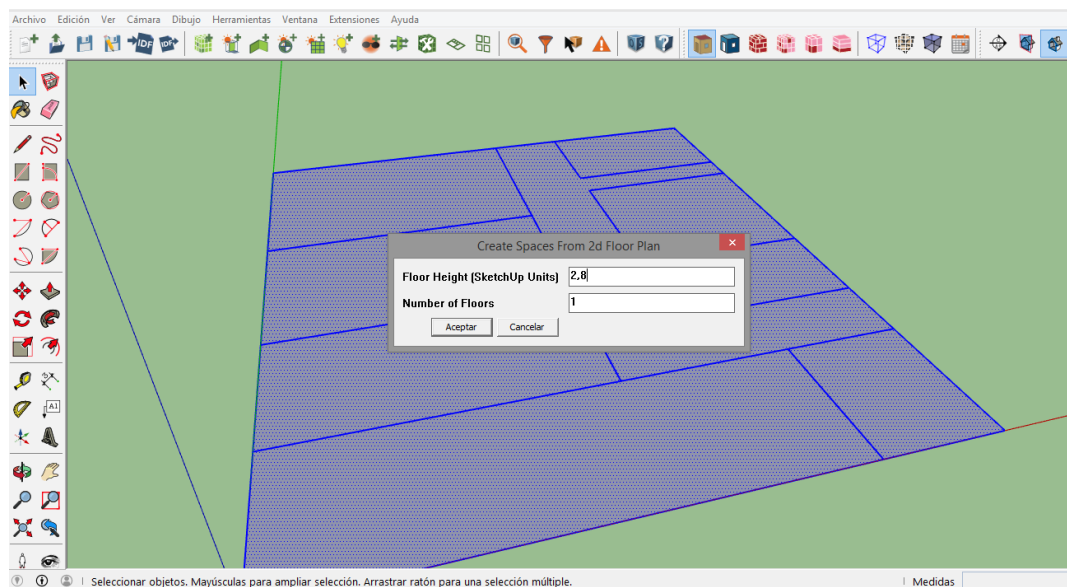
**Create spaces from diagram:** Esta herramienta permite usar herramientas de Sketchup para dibujar el diagrama del espacio que representa el plano de la planta del edificio a construir. Una vez se ha creado el diagrama de la base, se ha de seleccionar el conjunto de superficies que conformen la planta, o la única superficie, activar la herramienta de **Create spaces from diagram** y automáticamente se creará el edificio de una planta o de varios pisos basados en el diagrama dibujado. Con cada superficie de planta se generará un nuevo espacio, por lo tanto, a cada superficie le corresponde su espacio. Esta herramienta se puede usar varias veces, y si se desea crear un nuevo piso superior con superficies diferentes, solo se ha de repetir el proceso.

Esta herramienta solo funcionará para superficies horizontales, por lo que ignorará las superficies que no sean de este tipo. Cuando se ha ejecutado la herramienta, los nuevos espacios creados serán como cualquier otro espacio de Openstudio. Los espacios creados pueden ser modificados a pesar de su geometría básica.

Por lo tanto, los pasos a seguir son:

1. Generar el diagrama de la superficie base de la planta mediante las herramientas de dibujo de Sketchup.
2. Seleccionar la superficie o el conjunto de superficies que conformen la planta.
3. Activar la herramienta **Create spaces from diagram**.

En la herramienta de **Create Spaces from diagram** se abre un nuevo cuadro de diálogo donde se ha de introducir la altura del piso que se desea crear, por ejemplo, 2,8 m y el número de pisos que se quiera generar. En este caso solo se va a modelar un piso. Ver Figura 33.



**Figura 33.** Creación de nuevos espacios con la herramienta “Crear espacios a partir de diagrama”

El resultado esta operación es un piso compuesto por varios espacios, en total 9, de altura media de 2,8 m, como se ve en la Figura 34.

Si se selecciona un espacio y se da al botón derecho del ratón, se abrirá una nueva ventana en la que se ha de seleccionar la opción **Openstudio>Inspector**. En el inspector de Openstudio se podrá modificar cualquier atributo de este espacio, como se verá en el apartado *Inspector Openstudio*. Cada espacio tendrá un nombre por defecto, como “Space 109”, es recomendable renombrar el espacio para identificarlo y agilizar el trabajo en el entorno. Por ejemplo, si se sabe que un espacio corresponderá al despacho, ese espacio recibirá el nombre de *Despacho*.

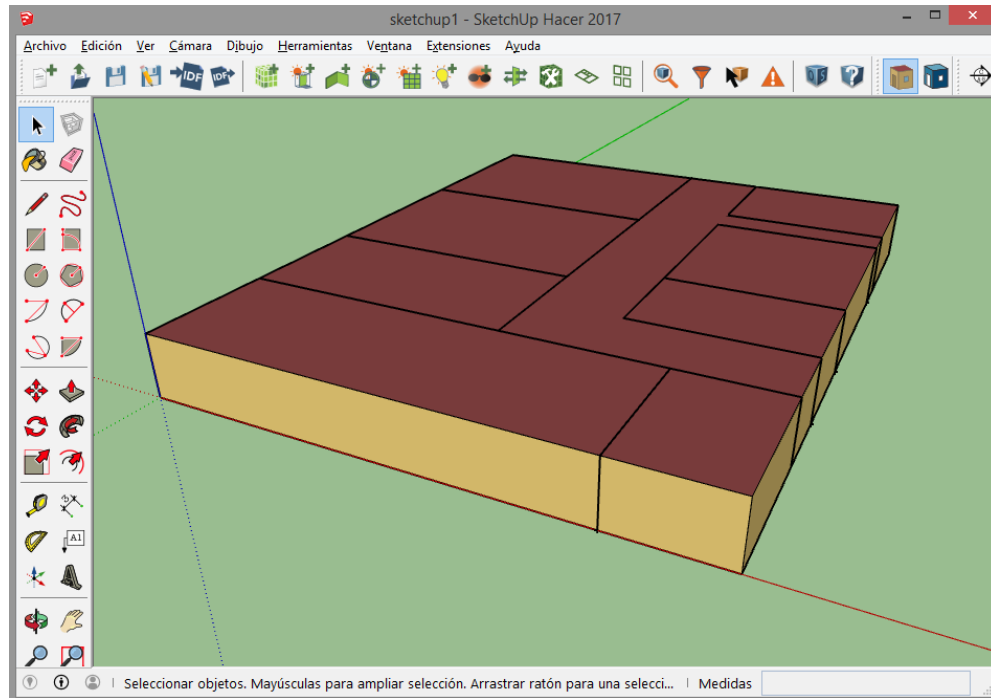


Figura 34. Forma de los nuevos espacios creados

### 6.3.3. Surface matching

Esta herramienta se utiliza para identificar las intersecciones entre los diferentes espacios, de forma que cada espacio reconozca sus recintos adyacentes, así los elementos quedan interseccionados. Esta herramienta establece las condiciones de borde exteriores para las superficies creadas y así asignar el objeto del límite exterior. Para ejecutar esta función se ha de activar la herramienta **Surface Matching**, se abrirá un cuadro de diálogo como en la Figura 35 y se deberá aplicar de forma sucesiva las opciones de **Intersect in Entire Model** y **Match in Entire Model** que se muestran en la figura nombrada.

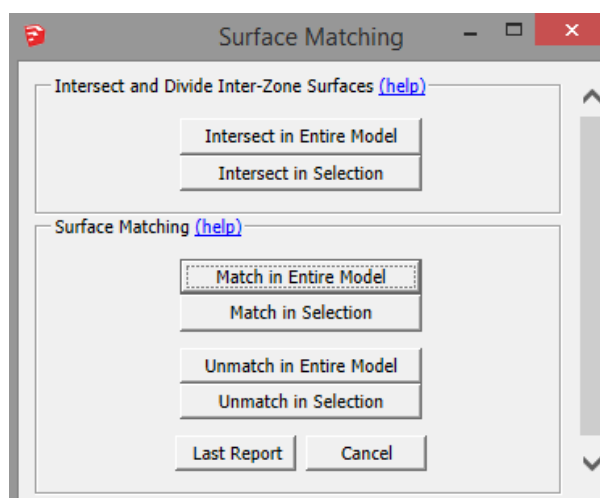


Figura 35. Ventana emergente de surface matching

De esta forma se identificarán las superficies como suelos, paredes, techos... Una vez realizada la intercepción, es recomendable verificar que en el modelo se han configurado los límites correctamente. Entonces, una vez ejecutadas las órdenes, si se acude a la opción de **Plano de Sección** ubicada en el bloque de herramientas de **Sección**, mientras sucesivamente se pulsa la herramienta “Renderizado por condiciones de contorno”, que se explicará en el apartado *openstudio rendering toolbars*, se podrá visualizar que los elementos en contacto con el terreno están de color marrón, mientras que para las particiones interiores el color es verde y para las superficies en contacto con el exterior les corresponde el color azul.

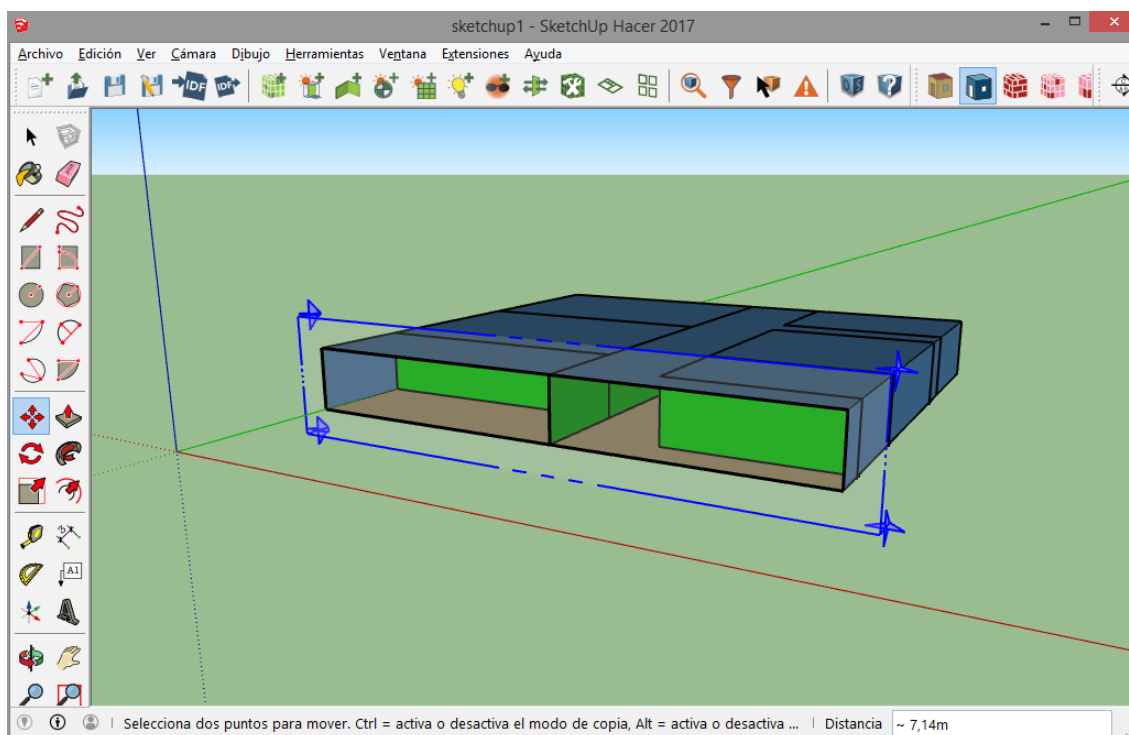


Figura 36. Modelo con renderizado por condiciones de contorno.

#### 6.3.4. Set attributes for selected spaces

La herramienta de asignar atributos a los espacios seleccionados se usa para establecer atributos para cada espacio seleccionado en el modelo de Openstudio. Cuando se activa la herramienta aparece un nuevo cuadro de diálogo con menús desplegables. Los primeros menús; Space type, building story, construction set, thermal zone, configuran los atributos de los espacios seleccionados. Cuando se abre cada uno de los menús aparecen las listas propias de la plantilla seleccionada al iniciar Sketchup, en este caso “Escuela de Secundaria”, a la que le corresponden los atributos propios de una escuela. Los últimos dos menús están relacionados con las zonas térmicas.



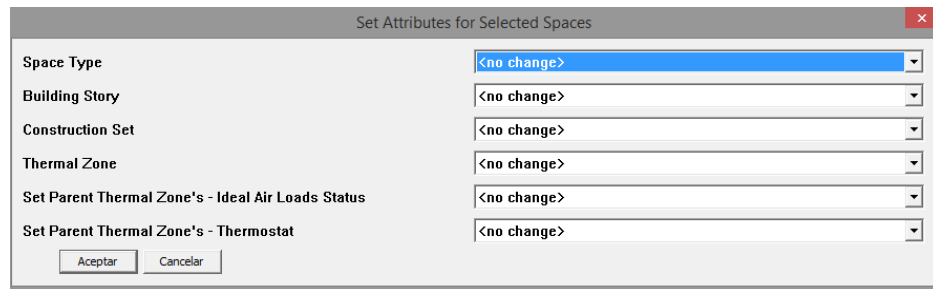


Figura 37. Ventana emergente para la selección de atributos para los espacios seleccionados

### 6.3.5. Inspector Openstudio

Esta herramienta es útil para añadir o modificar algún material. El Inspector puede mostrar información sobre el modelo actualmente abierto. Cuando se accede a la herramienta **Inspector** aparece una ventana emergente con varias secciones. Se puede activar esta herramienta directamente desde la barra de herramientas Openstudio, o bien, una vez seleccionado el objeto que se desee modificar, se clicla el botón derecho del ratón y se abre la opción **Openstudio>Inspector**.

- **Select type:** Está ubicada en la parte superior izquierda de la ventana, e indica seleccionar tipo. En ella aparecen una lista donde se encuentran una serie de objetos de Openstudio, ordenados por categorías en función de si pertenecen a Geometría, sistema HVAC, Simulación de iluminación o recursos. En las categorías podemos encontrar objetos tipo:
  - Geometría: Edificio, particiones, superficies, espacios, Ventanas.
  - HVAC: Zonas térmicas
  - Simulación lumínica: Controles, sensores, mapas.
  - Recursos: Historia de edificio, construcción, horarios, colores de renderizado, tipos de espacio

En cada lista se enumeran los objetos del modelo que hay en ellas. Cada objeto de las cuatro categorías tiene un número asignado entre paréntesis, que indica el número de objetos que aparecen en el modelo en referencia a esa clasificación. Por ejemplo, si en el modelo hay 9 espacios diferentes, en la lista de **Spaces** aparecerá el número “(9)” a su lado.

- **Select object:** Está ubicado en la parte inferior izquierda. Cuando se selecciona un objeto de la lista del apartado **Select type**, ese objeto aparece en el apartado **Select object**. Debajo de ese apartado hay una serie de botones. Los botones tienen la función de crear, copiar, eliminar y purgar objetos del tipo seleccionado. Hay objetos en los que esos botones están deshabilitados.
- **Edit object:** En este panel se encuentran diferentes campos para definir el objeto seleccionado en el panel de **Select Object**. Así pues, los atributos que se pueden introducir para definir el objeto seleccionado dependerán de la categoría a la que

pertenezca. Por ejemplo, si el objeto seleccionado es un espacio las barras de selección que se mostrarán serán:

- Nombre
- Espacio tipo
- Construcción por defecto
- Horarios por defecto
- Zona térmica
- Historia del edificio

Estos son los mismos atributos son los mismos que se pueden escoger a la herramienta **Set attributes for selected spaces**. Las siguientes barras están relacionadas con la posición geométrica del objeto, y los valores correspondientes se aplican de forma automática.

Así pues, cada objeto tendrá diferentes atributos y características a editar y para definirlos adecuadamente en función de qué se trate.

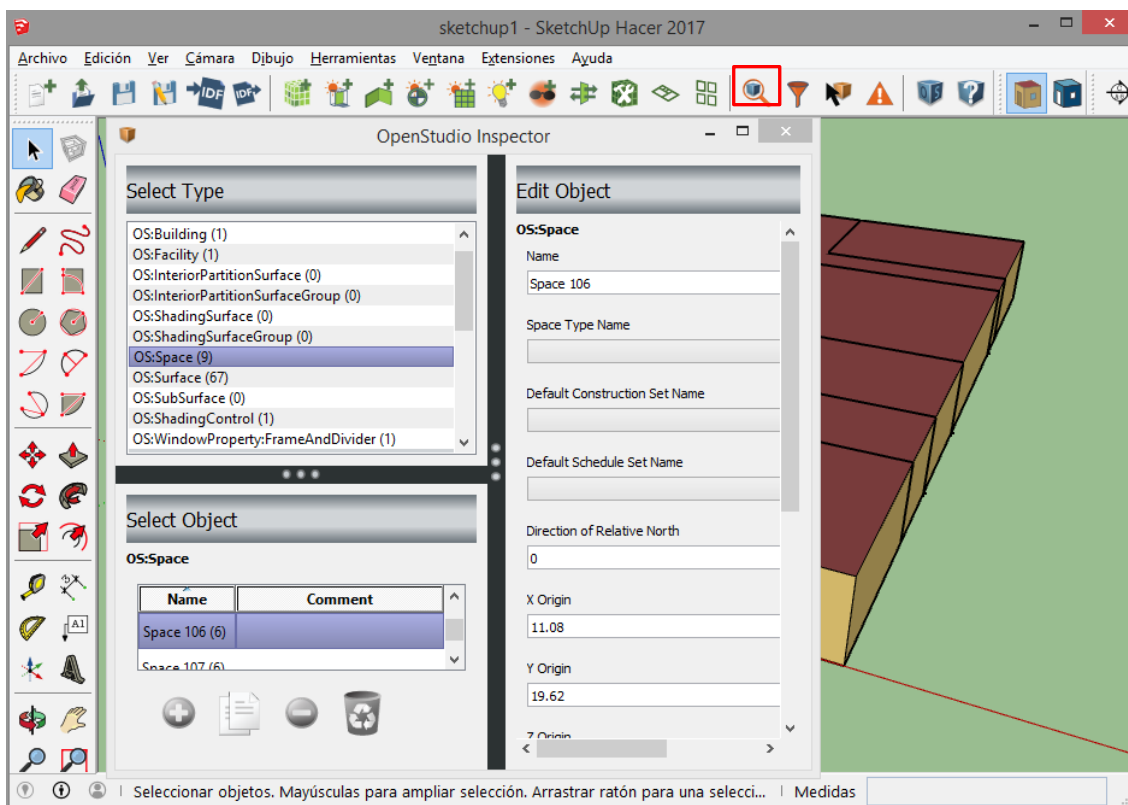


Figura 38. Ventana de inspector de Openstudio para la edición del modelo.

### 6.3.6. Creación de ventanas y puertas

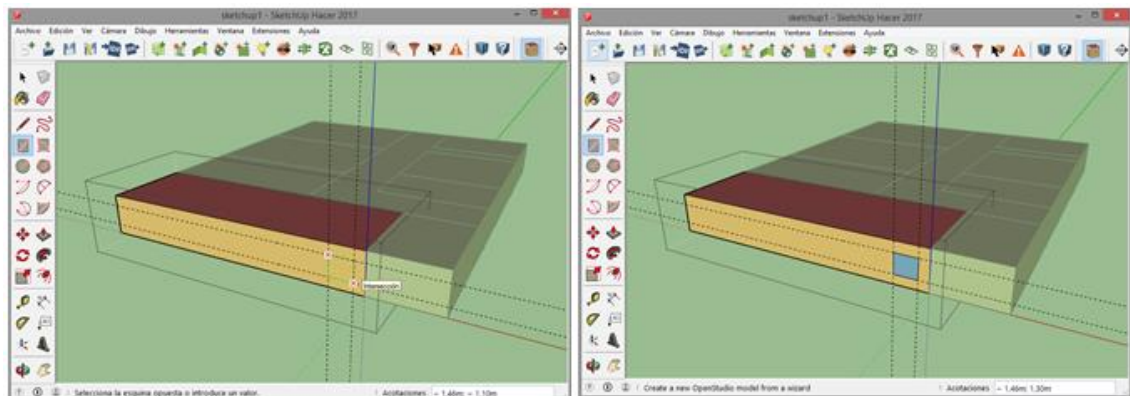
Las ventanas y las puertas se han de dibujar en las superficies de las paredes. Para modificar o crear nuevos dibujos en el modelo, se ha de hacer doble clic en la parte correspondiente. Tanto

ventanas como puertas se pueden dibujar utilizando las herramientas de dibujo como **línea** o **cuadrado**, o mediante el uso de guías para facilitar su creación.

Para la creación de ventanas se ha de seguir el siguiente proceso:

1. Hacer doble clic sobre la superficie donde se vaya a generar el nuevo hueco.
2. Se utiliza la herramienta **guías**, de forma opcional, para ayudar a proyectar la geometría con las dimensiones correspondientes.
3. Mediante las herramientas de dibujo básicas, se genera el nuevo hueco, con la ayuda de las guías de referencia.

El resultado será un hueco de color azul que representará la geometría de una venta, como se ve en la Figura 39. Mediante la herramienta Inspector se pueden modificar las propiedades de la ventana



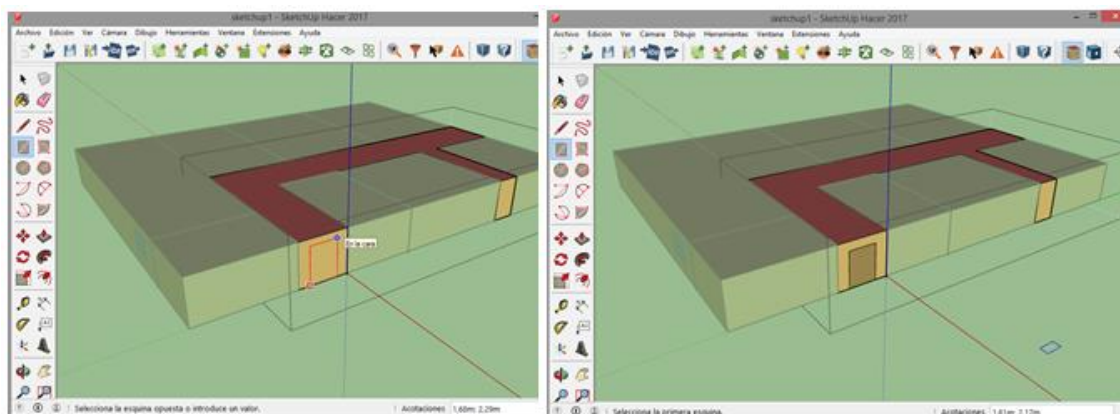
**Figura 39.** Creación de una nueva ventana o hueco.

Para modificar cualquier parámetro de la ventana se ha de acceder al Inspector de Openstudio. En el Inspector, la ventana se reflejará como un elemento “Subsurface” (subsuperficie), y desde el editor de objeto se podrán asignar o cambiar parámetros como:

- **Name:** En esta casilla se identificará la ventana por su nombre en el modelo. Para reconocerla de forma fácil, se recomienda indicar la ventana con numeración y por tipo de fachada en la que se encuentra. Por ejemplo, si es la primera ventana en la fachada orientada hacia el sud tendrá el siguiente formato: Ventana 1 FSud.
- **Subsurface type:** En esta categoría aparece una lista con tipos de subsuperficies como: Ventana fija, ventana operable, puerta, puerta de vidrio, ente otros tipos. Los tipos más usados para asignar ventanas son las fijas u operables.
- **Construction name:** Se le asignará la construcción del vidrio correspondiente
- **Outside boundary condition:** Es redundante indicarlo ya que el hueco se introduce en una fachada que ya tiene asignada las condiciones de contorno, en el momento que se aplica **Surface matching**.

- **Shading control name:** Esta sección permite seleccionar el tipo de control de sombreado que incorpore la ventana mediante objetos típicos como como persianas.
- **Frame and divider:** En este grupo se puede introducir el tipo de marco y/o divisores que le corresponda a esa ventana. Cuando se dibuja la ventana en la superficie de la fachada no se está teniendo en cuenta la geometría del marco, por lo que la ventana en el dibujo solo representa la parte de vidrio. Esta herramienta sirve para introducir los marcos y divisores a partir de la geometría del vidrio dibujada.

Para la representación de nuevas puertas, la metodología es la misma que para una ventana, la diferencia es que, si una ventana se construye inicialmente tocando el suelo, se considera un elemento “Door” o puerta. Mientras la parte inferior de la ventana no esté en contacto con el suelo, seguirá siendo un elemento ventana. Las puertas se representan de color marrón y son opacas. Acudiendo a la herramienta **Inspector** se pueden modificar las propiedades de la puerta



**Figura 40.** Creación de una nueva ventana o hueco.

Mediante la herramienta **Inspector** se puede modificar las características de la puerta. En el editor del objeto se pueden encontrar las mismas opciones que en el caso de ventanas: Nombre, tipo de sub-superficie, construcción, etc.

### 6.3.7. Shades

En un edificio puede haber objetos que generen sombras en él, como voladizos, salientes, otros edificios, otros objetos exteriores, etc. Para generar los objetos que proyecten sombras, primeramente se ha de activar la herramienta **New shading surface group** ubicada en la barra de herramientas de Openstudio.

Una vez activada la herramienta, se sitúa el cursor en el punto del modelo donde se quiera generar el objeto sombra. Por ejemplo, se puede situar encima de una puerta exterior a modo de voladizo o como una serie de palas de una ventana que proyectan sombras en ella ve en la Figura 41. Estos objetos se pueden dibujar con las herramientas básicas de dibujo, una vez se haya hecho doble clic en el nuevo espacio de sombreado.

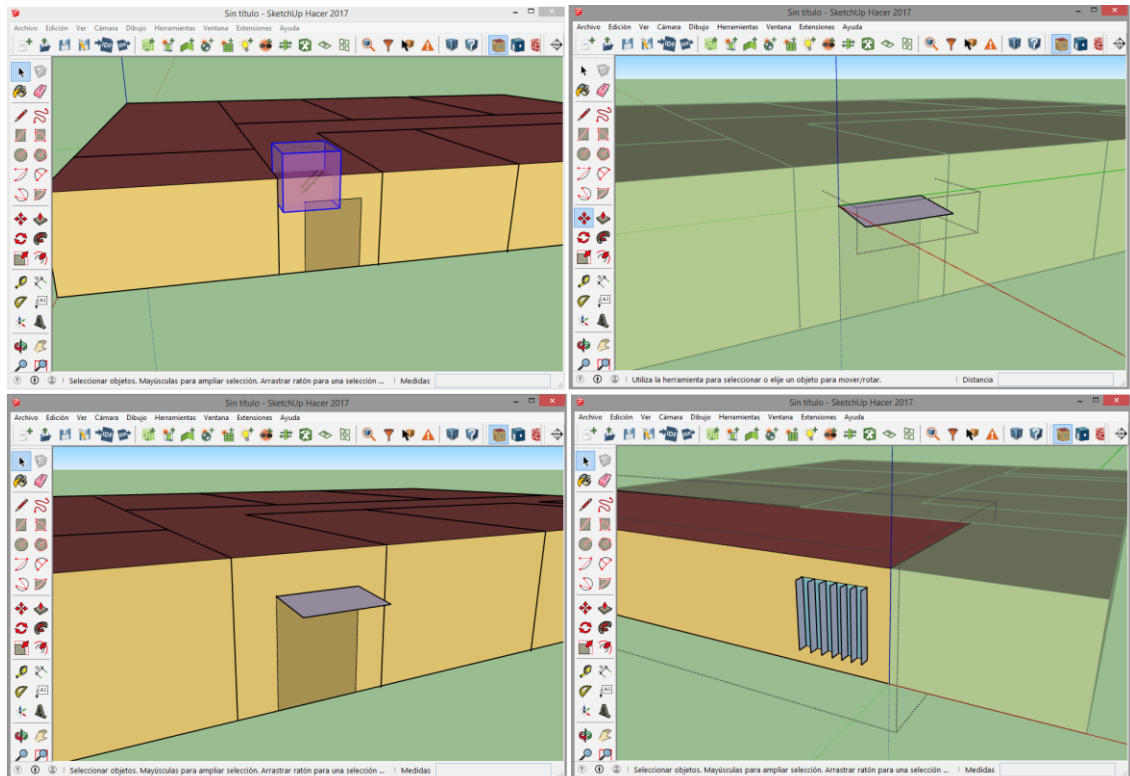


Figura 41. Creación de nuevos objetos de sombra. Objeto voladizo y palas de ventana.

Se puede agregar un control de sombreado, este se aplica normalmente para estudiar el impacto de persianas u otros objetos de sombreado. Antes de aplicar el control, se ha de haber creado el objeto de ventana en la fachada que represente el estado sin sombreado. Posteriormente se ha de crear una construcción que represente el estado sombreado o bien un material de sombreado. Este estado de sombreado se crea en **Openstudio Application**. Seguidamente se accede a **Extensiones>Openstudio User Scripts>Alter or Add model elements>Add shading controls**. Se abrirá una ventana emergente donde dará la opción de introducir o el material de sombreado o la construcción sombreada, solamente una opción.

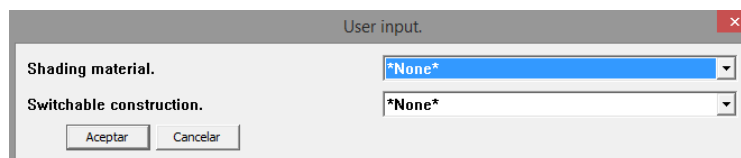
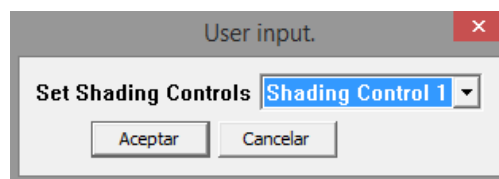


Figura 42. Menú de entrada al tipo de material de sombreado o construcción sombreada

Para asignar el control de sombreado a una ventana, se ha de tener seleccionada la ventana o el objeto a aplicar el control, mientras se vuelve a las extensiones de Openstudio **Extensiones>Openstudio User Scripts>Alter or Add model elements>Set shading controls**. Se abrirá una ventana emergente indicando el nuevo control de sombreado a aplicar a la ventana.



**Ilustración 43.** Asignando material de sombreado a una ventana

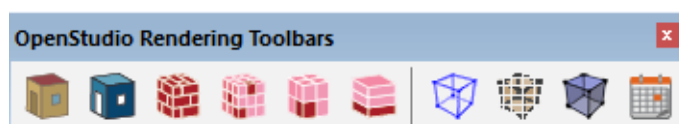
Una vez aceptada la orden de control, se aplicará a la ventana seleccionada un control de sombreado, por ejemplo, aplicará el material de sombreado anterior en momentos con máxima radiación solar. Si se acude al inspector mientras la ventana está seleccionada, se comprobará que se ha aplicado en el apartado **Shading control** el nuevo **Shading control 1**.

Para editar o comprobar los parámetros que incluye el **Shading control 1**, se accede al editor de objeto y aparecerá una lista con valores como:

- **Name:** El nombre por defecto es **Shading control 1**, pero puede ser modificado a gusto del usuario.
- **Shading type:** Se abre una lista con para elegir según si el sombreado es interior exterior, si es una sombra, un vidrio, entre otros.
- **Shading device material name:** En este caso aparecerá el material de sombreado creado o escogido para aplicar a la ventana mediante usando ese control.
- **Shading control type:** En este caso aparece una lista para elegir cuándo se ha de aplicar el control; siempre activo, siempre desactivo, según el horario escogido o cuando la radiación solar es máxima. Normalmente se escoge la opción de aplicar el control cuando la radiación es mayor.
- **Schedule name:** En caso de escoger el control según un horario previsto, este se ha de indicar.

## 6.4. Openstudio Rendering Toolbars

En este conjunto de herramientas se puede acceder a opciones relacionadas con el renderizado de objetos. Las opciones, nombradas de izquierda a derecha de la barra, son las siguientes: Tipo de elemento, condiciones de contorno, construcción, tipo de espacio, zona térmica, planta ocular modelo, ver geometría oculta, ver modelo en rayos-x, mostrar cuadro de diálogo de sombras.



### 6.4.1. Render by surface type

La herramienta de renderizado por tipo de superficie renderiza paredes, techos, ventanas, puertas, pisos, superficies de partición interiores con colores únicos. Si se crea una nueva geometría, se clasificarán y renderizará de forma automática.

### 6.4.2. Render by boundary condition

La herramienta de renderizado por condiciones de contorno representa las superficies en función de las condiciones de contorno externas. Esta opción permite visualizar y examinar globalmente las condiciones de contorno del modelo, para verificar si los suelos, techos, paredes, particiones, han sido generadas de forma correcta.

Existen 9 modos de límite básicos, con subconjuntos dentro de algunas condiciones. La clasificación de los materiales para las condiciones de contorno se muestra en la siguiente imagen.



**Figura 44.** Colores de renderizado

Fuente: Página oficial NREL

### 6.4.3. Render by construction

La herramienta de renderizado por construcción muestra las superficies en función de su construcción. Si cada superficie está fabricada con la misma construcción, entonces cada una tendrá un color correspondiente. Si una o más superficies comparten construcción, entonces se representarán con el mismo color.

### 6.4.4. Render by space type

La herramienta de renderizado por tipo de espacio representa cada espacio en función del tipo de espacio asignado. Los **Space types** o tipos de espacio se utilizan para definir características comunes como cargas internas, horarios, construcciones... Por ejemplo, si se tiene en el modelo muchas salas de oficina, se debe crear un “Tipo de espacio de oficina” para asignar a cada una de estas salas. En OpenStudio, cada una de esas salas se denomina **Space**. Cada espacio tipo creado en el modelo obtendrá un color que lo distinga de los demás. Por tanto, se diferenciarán los espacios por colores.



### 6.4.5. Render by thermal zone

La herramienta de renderizado por zona térmica representa los espacios en función de la zona térmica que se le haya asignado. Las zonas térmicas se usan para definir un volumen que se climatiza por un sistema HVAC. Si un sistema cubre varias salas, cada una de estos espacios tendrá la misma zona térmica. Las zonas térmicas pueden tener múltiples espacios, pero los espacios no pueden tener múltiples zonas térmicas.

Se puede asignar una nueva zona térmica acudiendo al menú **Set attributes for selected spaces**. Una forma fácil de distinguir las zonas térmicas es asignando zonas térmicas a espacios sin zonas térmicas acudiendo a **Extensiones>Openstudio User scripts>Alter or Add model elements>Add new thermal zone to spaces with no thermal zone**. Esta opción asignará nuevas zonas térmicas a espacios que aún no la tienen. Otra forma de distinguir zonas térmicas es, una vez asignadas zonas térmicas a todos los espacios, renombrando esas zonas térmicas a partir del nombre de los espacios, acudiendo al menú **Extensiones>Openstudio User scripts>Alter or Add model elements>Rename thermal zones based on space names**.

### 6.4.6. Render by building story

El renderizado por historial de planta renderiza el espacio en función de la planta asignada. Los espacios tienen un color determinado en función de la planta en la que estén. Los que se encuentran en la primera planta son de un color, mientras que los que están en la segunda planta tienen otro distinto. Se puede modificar acudiendo al menú **Set attributes for selected spaces**.

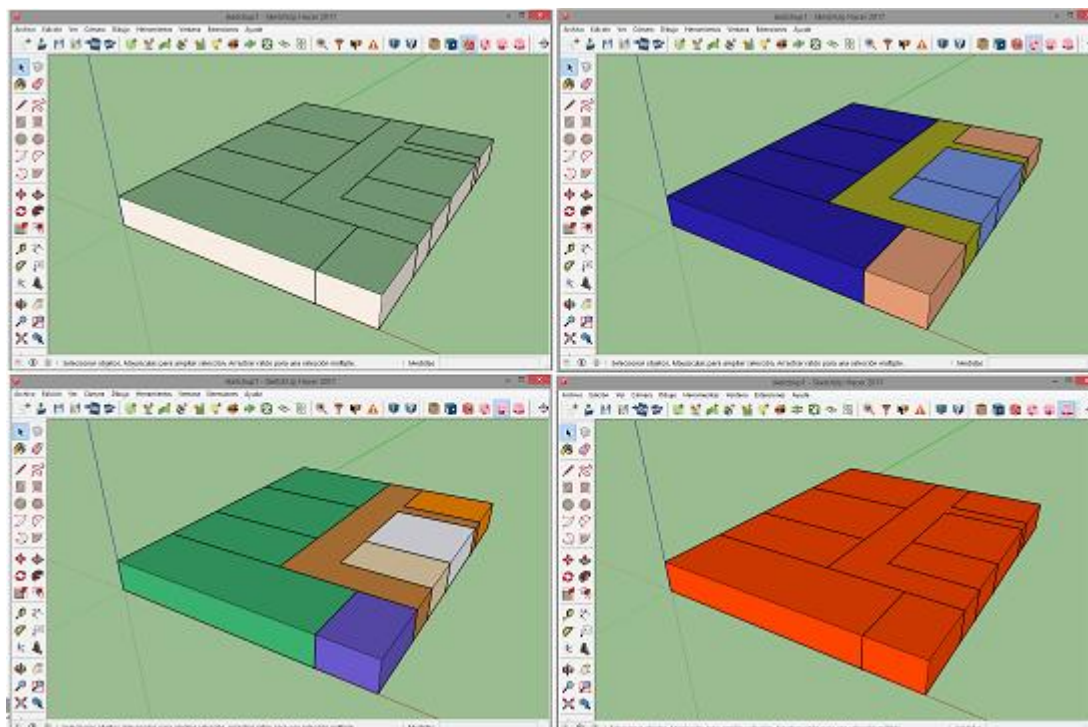


Figura 45. Tipos de renderizado del modelo: Renderizado por espacio, construcción, zonas térmicas, piso.



En la Figura 45 se ven distintos casos de renderizado del modelo: Renderizado por construcción, por espacios, por zonas térmicas y planta. En este ejemplo, se pretende dar a entender la diferencia entre lo que son espacios, espacios tipo y zonas térmicas. En el ejemplo se dispone de zonas como laboratorios, despachos, talleres y almacenes.

En el renderizado por construcción se observa como las paredes tienen la misma construcción, el techo tendrá una diferente, como también para el suelo. A cada construcción le corresponde un color. En el caso de renderizado por espacio tipo, se ha detallado anteriormente que se puede asignar un mismo espacio tipo a los espacios que tengan comunes cargas internas, horarios o construcciones. Para simplificar el cálculo, se asigna un mismo espacio a los laboratorios, de color verde, mientras que el despacho queda de color azul, el pasillo es de color marrón y así con cada espacio.

Como dijo Josep Soler, hay mil formas de simular edificios, no por tener resultados detallados serán más precisos porque generalmente se desconocen los perfiles horarios o las cargas internas exactas. A veces es recomendable coger un resultado más global. Josep Soler citó *“Insisto que la zonificación es un “arte” para la simulación y que existen infinitas soluciones pero se debe ser consciente de las implicaciones y simplificaciones que cada decisión tiene para el objetivo del cálculo y cómo interpretar después los resultados.”*

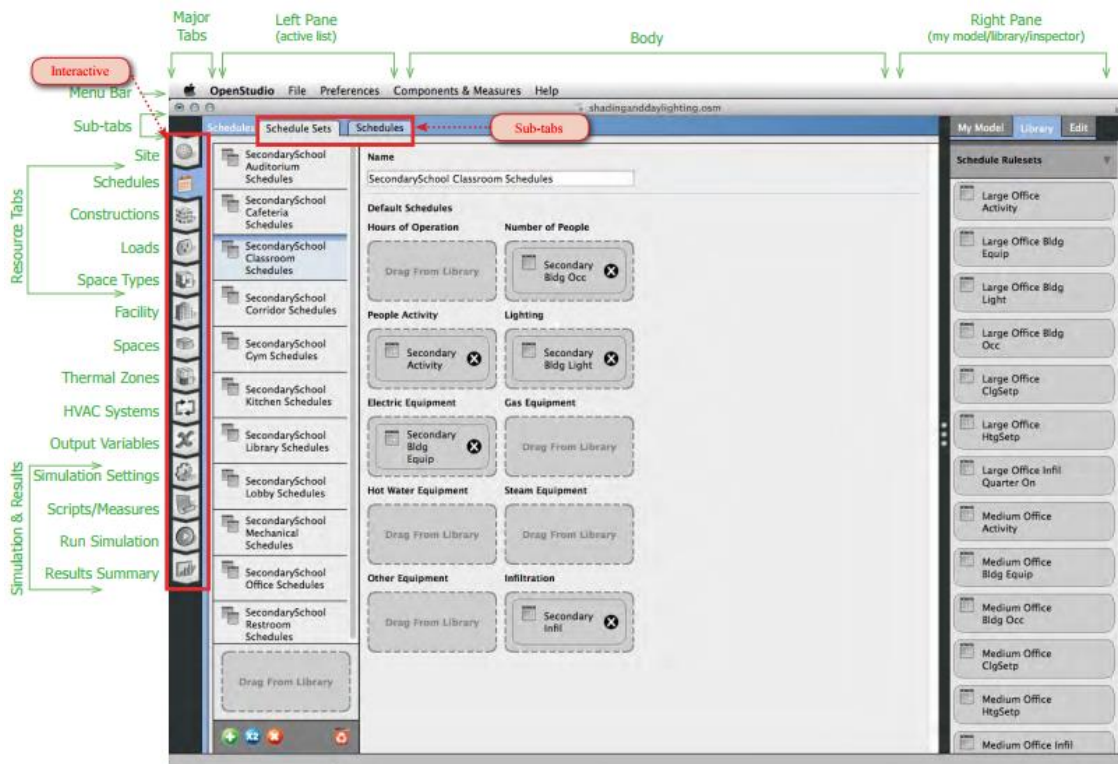
Seguidamente, el renderizado por zonas térmicas, en la Figura 45 del ejemplo se supone que si existen zonas del mismo color significará que están cubiertas por el mismo sistema HVAC. Si hay espacios con distintos colores cada uno dispondrá de un sistema distinto o independiente.

Por último, el renderizado por **Building type** señala los diferentes pisos que pueda haber en el modelo. Como en este ejemplo solo existe una planta, toda ella se marcará de un color.

## 6.5. Openstudio Application

Una vez se ha creado el modelo de edificio con sus atributos, el siguiente paso es acceder a **Openstudio Application**. En este entorno se añaden nuevos parámetros relacionados con el edificio, se suele usar para agregar cargas internas, materiales, conjuntos de construcciones, sistemas térmicos, y más. La aplicación se puede abrir directamente desde el complemento Sketchup mediante el iconode **Launch Openstudio** situado en la barra de herramientas de Openstudio o bien abriendo el archivo desde la propia aplicación. A continuación se explican los diferentes apartados que componen la aplicación.

La interfaz de la aplicación se compone por la barra de herramientas básica, situada en la parte superior, seguido por pestañas interactivas para introducir los datos (Localización, Horarios, Construcciones, etc.) en un flujo sugerido para la modelización situada en el lateral izquierdo de la interfaz. En el cuerpo se encuentran los detalles y elementos de cada categoría seleccionada en la barra de pestañas interactivas, junto con sus correspondientes subcategorías para detallar los elementos. En la parte derecha de la interfaz aparecen las pestañas de **My model**, **Library** y **Edit**.



**Figura 46.** Openstudio Application guía de interface  
Fuente: Openstudio NREL documento de Guía Rápida.

### 6.5.1. Barra de herramientas superior

En la barra de herramientas se encuentran las opciones para el manejo de los archivos y otras posibilidades para ayuda a la modelización. Las sub-pestañas están diseñadas para pasar de categorías más generales ubicadas en la izquierda a más específicas a la derecha.

- **File:** En esta pestaña se abre una lista para ejecutar las operaciones básicas como nuevo archivo, guardar, guardar como, importar, exportar... Siempre con archivos de extensión .osm. La opción “load library” permite descargar archivos (.osm) como plantillas que se guardan automáticamente en el ordenador al instalar el programa. Cuando se descarga un archivo, este aparece en la sección **Library**, donde se encontrarán todos los elementos que conforman el archivo, organizados por categorías.
- **Preferences:** En esta pestaña se encuentran opciones para modificar las unidades, en este caso se utilizarán las unidades métricas (SI) y opciones como modificar el directorio de Medidas. El directorio de medidas sirve para encontrar las medidas descargadas en el ordenador.
- **Components&Measures:** Esta herramienta servirá para buscar componentes y medidas y aplicarlas.
- **Help:** Esta pestaña incluye documentos de ayuda o redirecciones a pestañas de páginas oficiales de Openstudio, que sirven para el aprendizaje general e inicialización.

En la parte derecha de la interfaz se encuentran los objetos **My model**, **Library** y **Edit**.

- **My model:** Esta pestaña muestra elementos que ya forman parte del modelo actual, eso quiere decir que el usuario ha creado los objetos de forma manual, o bien los objetos se han importado y han sido usados en el modelo arrastrándolos desde la pestaña Biblioteca.
- **Library:** Incluye componentes y medidas de ficheros que vienen incluidos cuando se instala la aplicación y que han sido cargadas en el modelo, o que se descargan desde la Biblioteca de componentes de construcción (Building Component Library, BCL).
- **Edit:** Esta herramienta permite seleccionar ciertos componentes y editar la configuración para estos.

### 6.5.2. Barra de herramientas vertical

En la parte lateral de la interfaz se encuentran las pestañas interactivas, compuestas por sub-pestañas para detallar y describir cada elemento de la categoría general, descritas a continuación.

#### 6.5.2.1. Site

Al entrar por primera vez en el entorno Openstudio, la primera pestaña que aparece es **Site**. Inicialmente se ha de definir el entorno climático donde se encuentra el edificio a estudiar. En esta sección nos centraremos en apartados como **Weather file** y **Design days**.

Es necesario descargar los archivos climáticos de la página oficial de EnergyPlus, en la sección de **weather**. La web dispone de ficheros climáticos de distintas partes del mundo. En este caso se deberá descargar todos los ficheros de Barcelona. Los ficheros que se recomiendan descargar son el archivo meteorológico y de localización (.epw), el archivo de diseño de días (.ddy). De todas formas estos archivos sirven de ayuda para principiantes, ya que contienen datos orientativos. En casos extremos y de gran necesidad, en un ámbito profesional, es recomendable escoger archivos de más precisión, o bien crearlos, según la zona exacta donde se ubique el edificio.

- **Weather File:** En esta casilla se abrirá el fichero climático de Barcelona (.epw), descargado previamente. Se pueden buscar otros archivos, de ser necesario, en la pestaña **Browse** ver Figura 47. Debajo de esa casilla aparece el enlace al que se debe recurrir para descargar los ficheros climáticos de la provincia. Automáticamente se rellenarán campos como Localización, longitud o elevación.
- **Design Day:** En este campo se ha de abrir el archivo de días de diseño (.ddy), que describe los parámetros necesarios para definir un día típico de invierno y verano, que se utiliza para el cálculo de las cargas térmicas del edificio. Mediante esta información, EnergyPlus crea un día climático específico, con datos como radiación solar, viento, temperatura del aire, etc. Para seleccionar otro archivo se ha de clicar el botón **Browse**.

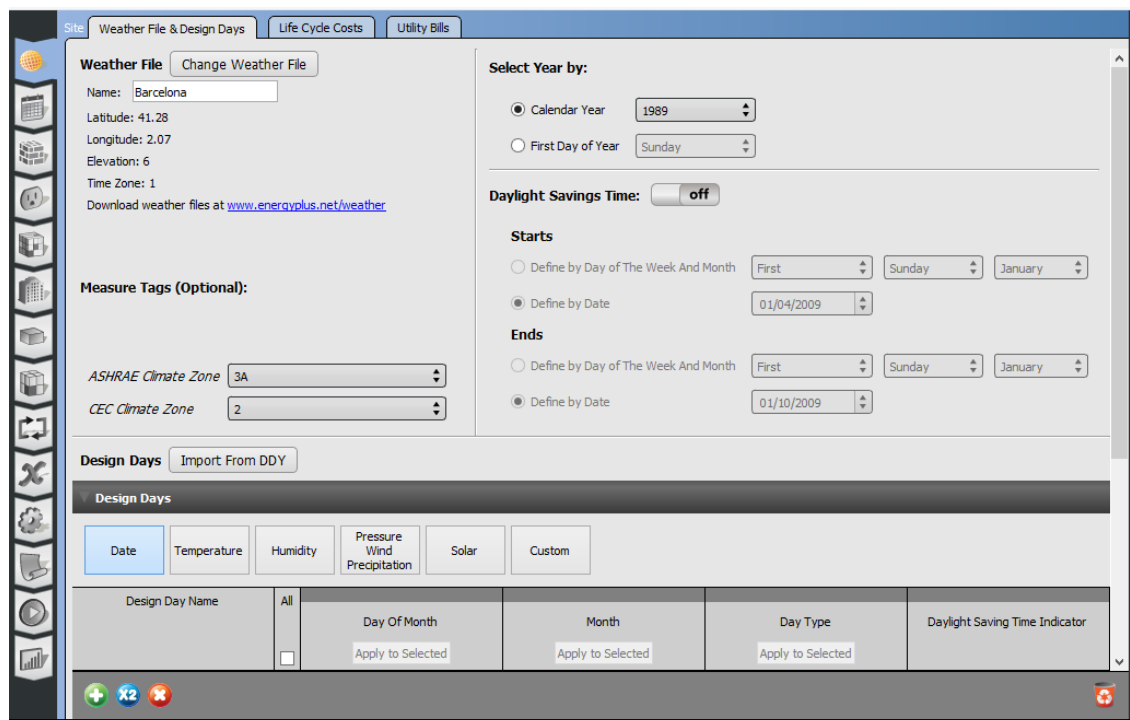


Figura 47. Entorno de Openstudio Application, Site.

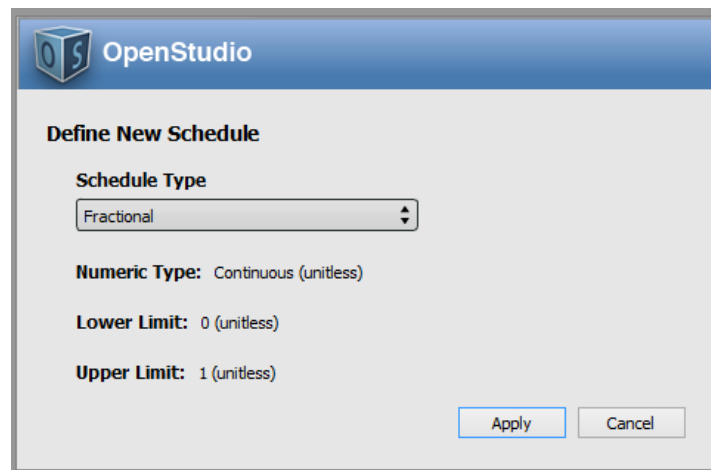
#### 6.5.2.2. Schedules

En este apartado se van a agregar los horarios que incluyen en el edificio. En la aplicación Openstudio se da la posibilidad de crear horarios para detallar la ocupación del edificio, la iluminación, los equipos, actividades, etc., cada uno con sus unidades correspondientes. Para crear un nuevo Schedule se ha de acudir al botón (+) situado en la parte inferior izquierda de la interfaz. Una vez clicado el botón, aparece una ventana ver Figura 48 para definir el tipo de horario. Debajo de **Schedule type** hay una lista desplegable para escoger el tipo de horario, dependiendo de las unidades puede ser adimensional, fraccional, percentil, etc. Los tipos de unidades más utilizadas son:

- **Fraccional:** Se usan las unidades fraccionales, 0 como nivel mínimo y 1 como nivel máximo, para describir la actividad o el horario de forma más global, de forma fraccionada. Se suele usar para describir la ocupación, iluminación, equipos eléctricos... Donde se describe de forma continua la fracción de uso o actuación en el tiempo.
- **ActivityLevel:** EL nivel de actividad se usa normalmente para describir horarios relacionados con volúmenes de trabajo medio realizados por personas en una estancia. Se puede escoger el valor mínimo y máximo dependiendo del uso, mediante tablas de referencia donde contrasten tasas bajas, medias o altas dependiendo del uso del local.
- **OnOff:** Este caso refleja el estado “encendido/apagado” de la actividad. Está representado por los estados de situación activa (1) o inactiva (0).

- **Temperature:** Las unidades usadas son  $^{\circ}\text{C}$  y se solicita en actividades donde se refleje la temperatura, como temperatura interior de termostatos, temperatura del agua caliente, etc., para indicar los puntos de referencia de temperatura.

Destaco que hay muchos tipos de unidades para definir los horarios en la lista de tipos de horarios, donde se podrá determinar en cada caso los valores mínimos y máximos. Los valores siempre son continuos, porque se reflejarán durante cada hora de cada día.



**Figura 48.** Ventana emergente para crear un nuevo Schedule

Una vez introducido el tipo de unidades de horario, se ha creado un nuevo horario para ser modificado desde cero. Primeramente se ha de escribir el nombre del horario, en este mismo ejemplo, si se quiere hacer el horario para la ocupación del despacho, se introducirá el nombre *Ocupación despacho* para distinguirlo de otros horarios. Este caso tiene unidades fraccionales, con valor mínimo y máximo de 0 y 1 correspondientemente.

En el lado derecho de la interfaz se visualiza, por defecto, de color azul todos los días del año, esto indica que se ha de generar el horario de ocupación para cada hora de cada día del año.

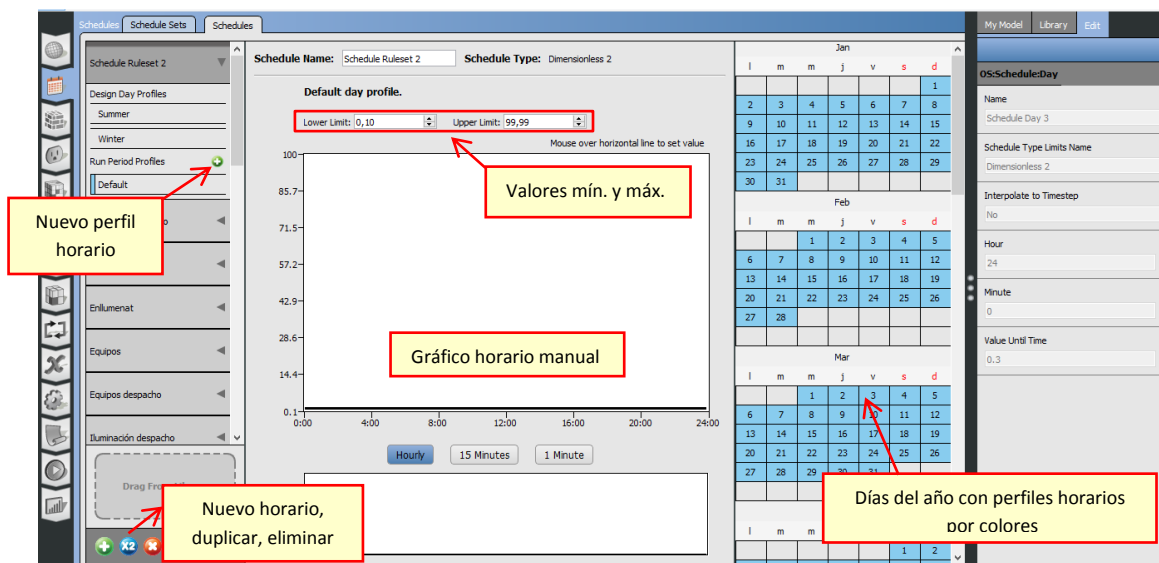


Figura 49. Visualización general pestaña Schedules

Para introducir la representación del horario de ocupación horaria de forma gráfica, se ha de dar al botón (+) situado al lado de **Run Period Profiles**. Seguidamente se tendrá que clicar en **Add**, para poder crear el horario. En este ejemplo, al tratarse de un despacho de una universidad, se hará un horario de ocupación promedio para indicar la ocupación durante la semana laboral, y un segundo horario de ocupación promedio para indicar de forma aproximada la ocupación del despacho en días de fin de semana.

En el primer caso, para crear los horarios semanales, se ha de modificar la gráfica que inicialmente aparece como una línea recta continua. Para dividir la línea por partes para modificar cada una por separado, basta con hacer doble clic en el punto correspondiente, y proceder arrastrando cada línea verticalmente para lograr el gráfico de ocupación horaria adecuado.

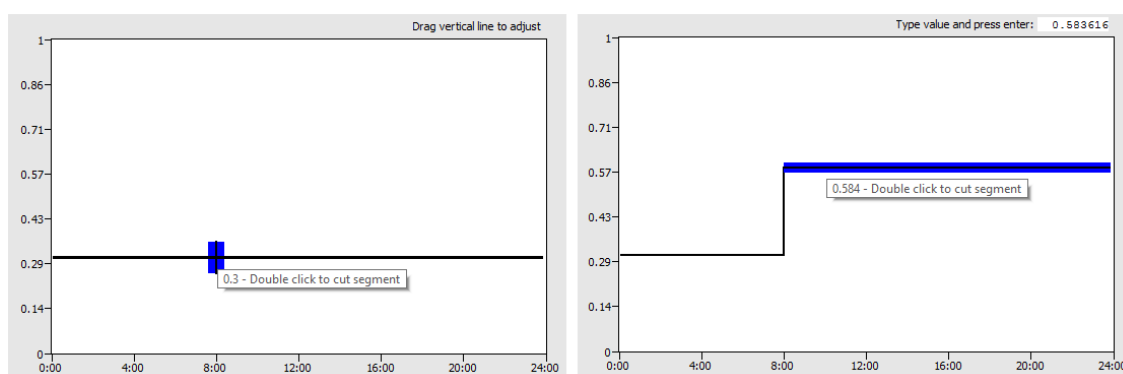
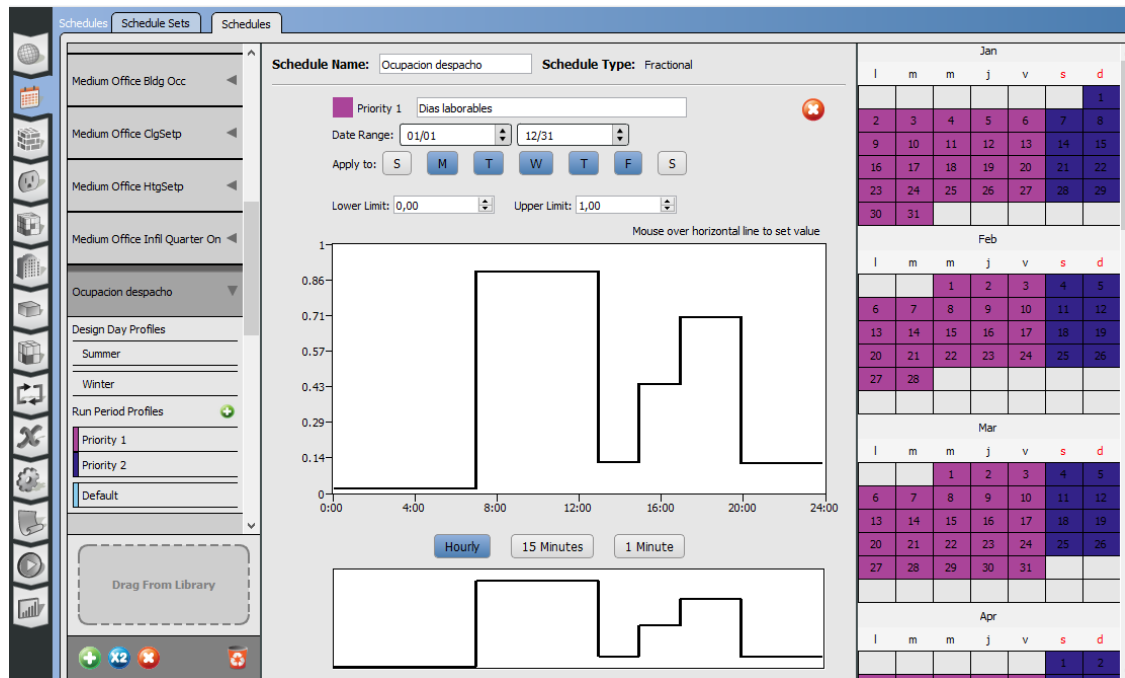


Figura 50. Modificar el gráfico del horario. Separación por doble clic y deslizamiento mediante arrastre.

En la figura se muestra el resultado del horario creado. En la parte derecha de la imagen se observa que los días laborables están marcados de color lila, con el horario correspondiente para días laborables según la gráfica que se muestra en esa misma imagen. En esa gráfica se observa que durante la mañana existe una ocupación máxima, mientras que en la franja del mediodía casi

no hay nadie, mientras que por la tarde vuelve a aumentar la ocupación, como se ve en la Figura 51. El horario creado para los días festivos, marcados de color azul, es nulo, es decir, se considera que en fin de semana no hay ocupación.



**Figura 51.** Diseño del horario ocupacional en días laborables y días festivos.

Los horarios son libres y modificables, dependiendo del ámbito en el que se recreen, es decir, dependerá si se trata de un edificio residencial, terciario, etc.

Así pues, se repetirá el proceso para el caso de alumbrado (fraccional), actividad de personas (W/persona), que en este caso es aproximadamente de 100W/persona, valor del cual se ha encontrado mediante tablas, o los equipos (fraccional), o infiltraciones (fraccional). Es de gran importancia matizar que se puede diseñar de mil formas distintas, según las preferencias de cada usuario, del tipo de edificio, de la finalidad de la simulación, del detalle que le quiera dar, etc., como también cada usuario escogerá las unidades y los valores correspondientes para cada caso. Hay muchas formas y posibilidades de modelar, por lo que cada persona ha de tener su criterio y justificación.

### 6.5.2.3. Añadir objetos desde la Biblioteca

Anteriormente se ha comentado que se pueden añadir objetos al modelo actual desde la pestaña Biblioteca. En la biblioteca hay componentes y medidas de ficheros de la aplicación o bien de descargas desde la Biblioteca de componentes de construcción (Building Component Library, BCL).

Para agregar elementos al modelo actual desde la biblioteca, se ha de seleccionar la pestaña **Library** en el panel derecho y rastrear el artículo que desea agregar al modelo. Seguidamente se

ha de seleccionar ese elemento y arrastrarlo y soltarlo en la zona de colocación correcta. Las zonas de colocación están rodeadas por una línea discontinua y están programadas para aceptar solo elementos que sean adecuados para ese campo.

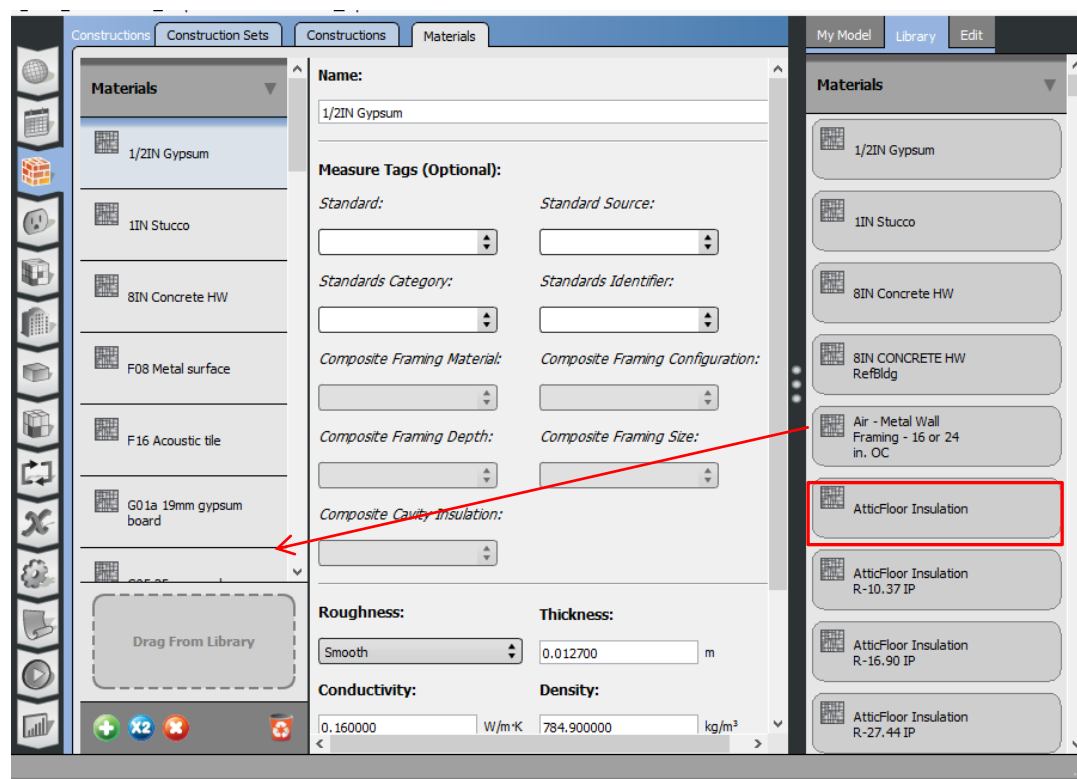


Figura 52. Importar material de la librería

#### 6.5.2.4. Schedule sets

En el apartado Schedule Sets se reagrupan los horarios creados con anterioridad, para recrear una colección de horarios para desarrollar actividades o elementos. Se puede aplicar a un edificio completo, a un tipo de espacio o a un espacio individual. Para crear un nuevo conjunto de horarios se ha de dar clic al botón verde (+) que indica para añadir un nuevo objeto y automáticamente aparece un conjunto de horarios vacíos, una lista de categorías de horarios a rellenar, horarios que detallarán y caracterizarán el elemento. Cabe destacar que el tipo de horario importado ha de corresponder al tipo de horario de destino (horario número de persona, iluminación, actividad persona, termostato, etc.). Los horarios se pueden colocar en cada hueco desde **My model**, en él se encuentran los objetos creados por el usuario, o desde **Library**, en donde se encuentran objetos descargados desde la biblioteca de datos.

Para importar objetos y que aparezcan en la Biblioteca, se ha de acceder al menú **File>Load Library** y elegir cualquier archivo (.osm) para que aparezca en la sección de **Library**. Se pueden descargar las plantillas ubicadas en el ordenador al instalar el software Openstudio, o bien los objetos descargados desde la BCL aparecerán en la biblioteca de igual forma.



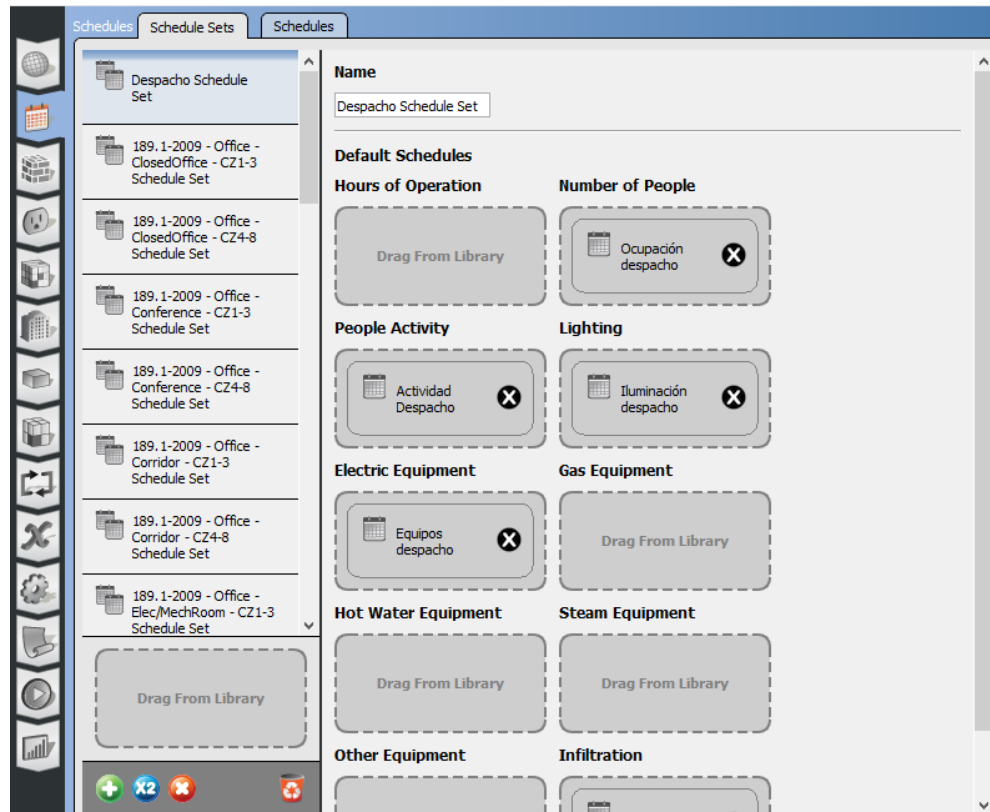


Figura 53. Pestaña Schedule Sets y creación de Despacho Schedule set.

En la imagen anterior se comprueba que para cada categoría le corresponde su horario determinado, número de personas, actividad, iluminación, etc. Cada horario introducido ha sido creado previamente según los datos de partida del espacio Despacho. Estos conjuntos de horarios definen y describen el despacho. De igual forma cada usuario ha de representar sus espacios con los conjuntos de horarios propios, según los datos de los que se disponga y del nivel de detalle y complejidad que se le quiera dar.

#### 6.5.2.5. Materiales

Como primer paso para definir las construcciones de cada superficie (pared, suelos, techos) es recomendable introducir los materiales que los componen. En la sub-pestaña de Materiales se pueden inspeccionar, crear y editar estos materiales, de forma que se detalla sus propiedades. En la parte izquierda se notifican cada uno de los materiales por categorías, distinguiendo elementos como materiales, materiales no másicos, aire, ventana de gas, vidrio... De esta forma se clasifican los materiales en función de su uso y composición.

Para crear un nuevo material, primeramente se ha de posicionar sobre la clase de material a la que corresponda, seguidamente se ha de clicar el icono (+) en la parte inferior del panel izquierdo. Otra forma de agregar materiales es arrastrándolos de la biblioteca o de mi modelo, ya que cuando se crea un nuevo material este aparece automáticamente en la lista de **My model**, pudiendo modificarlos o aprovecharlos.

Cuando se crea un nuevo material, es recomendable renombrarlo para identificarlo fácilmente, por ejemplo, en caso de crear yeso laminado será; *Yeso laminado*. Se puede observar en la Figura 54 que para introducir los datos existe un sistema gráfico simple y deducible. En cada casilla se ha de introducir los valores y las unidades correspondientes. Los datos que se ha de conseguir de un material para su completa descripción son:

- Rugosidad
- Espesor
- Conductividad
- Densidad
- Absorción (térmica, solar...)
- Calor específico

De estos materiales, en los que más aproximación se ha de tener es en los primeros cuatro, normalmente estos se pueden conseguir de las fichas técnicas que aportan los fabricantes de cada material o, en caso de no disponer de ellos, se pueden aproximar en la medida de lo posible y con valores razonables y normalizados. De igual forma, en la instalación de EnergyPlus se pueden conseguir valores estándar de los materiales. Cada clase de material tendrá diferentes campos de datos posibles.

En este ejemplo, el yeso laminado tiene un espesor de 0,012mm, conductividad de 0,2 W/m·K, densidad de 630 kg/m<sup>3</sup>, calor específico de 1000 J/kg·K, y absorción de aproximadamente 0,9. Se ha de repetir el proceso para cada material, teniendo en cuenta el orden de los materiales que formarán cada superficie.

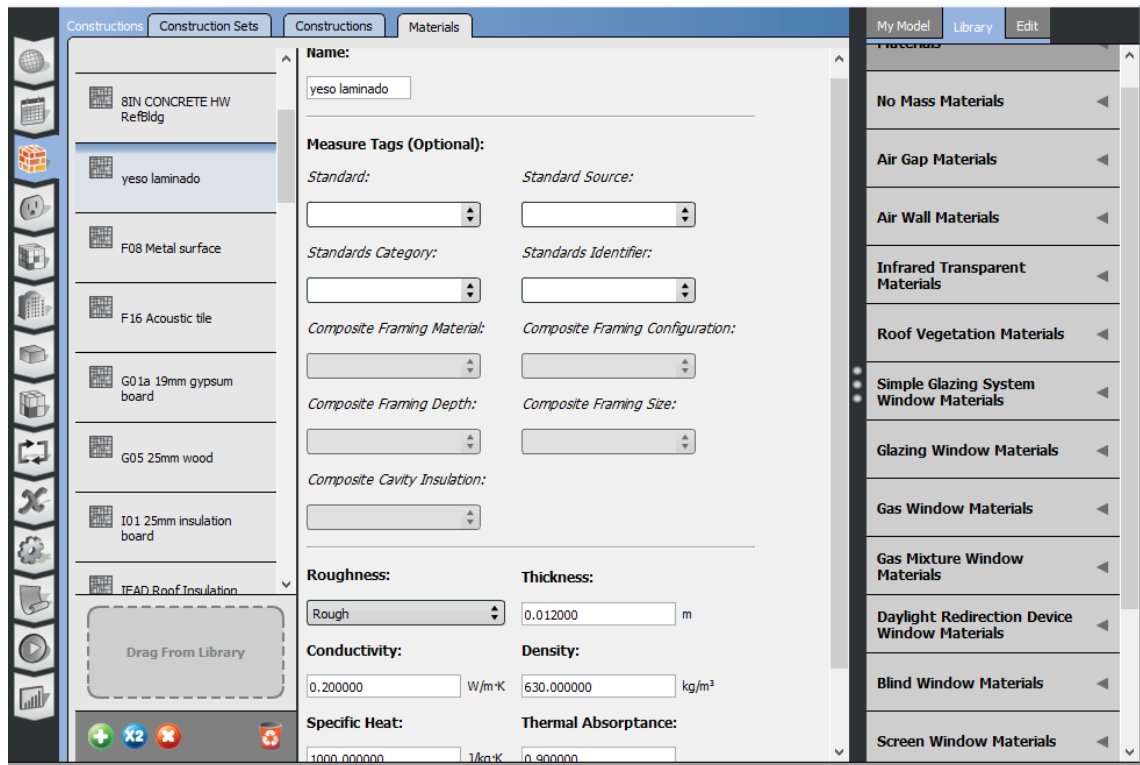


Figura 54. Introducción de material yeso laminado

#### 6.5.2.6. Constructions

En la pestaña de **Constructions** se encuentran los materiales de construcción de superficies, las construcciones creadas a partir de los materiales base y los conjuntos de construcciones creados a partir de la combinación de construcciones. Si en el entorno Sketchup se ha importado una plantilla, en la sección de construcciones aparecerán los materiales y construcciones que contiene el modelo de la plantilla escogida. También se pueden introducir los materiales y construcciones manualmente y desde cero, siempre y cuando se disponga de los datos necesarios para poder crear los elementos constructivos.

En esta pestaña se enumeran los distintos objetos de construcción que pertenecen al modelo actual. Cada construcción está formada por una o más capas de materiales creados o importados. Se pueden crear los materiales de forma manual, que entonces aparecerán en la pestaña **My model**, o bien se pueden arrastrar desde la Biblioteca una vez se haya descargado una plantilla o se haya descargado desde la BCL.

Entonces, se crearán todas las construcciones (paredes interiores, suelos, paredes exteriores, cubiertas...) para posteriormente formar cada espacio del modelo con la combinación de superficies adecuada. Para crear una nueva construcción se ha de clicar el botón (+) situado en la parte inferior izquierda, debajo de la lista de construcciones, y se creará una construcción vacía, es decir, sin materiales ni datos introducidos. Es recomendable renombrar la construcción para poder identificarla y reconocerla fácilmente en la lista, por ejemplo; *Pared interior 1*. La pared

interior del espacio del despacho estará formada de placas de yeso laminado (Pladur) y de ladrillo hueco. Los materiales se han de arrastrar, en este caso, de **My Model**, ya que han sido creados previamente.

Los materiales que componen cada construcción se han de ordenar desde las capas más internas hasta las más externas, es decir, la parte inferior de la interfaz, donde se agregan los nuevos materiales, representan el interior de la pared. Para eliminar los materiales solo hace falta clicar en el icono (x) posicionado en el lado del material.

En el caso de tener una pared exterior, como una fachada, entonces la cara exterior de esta, la que da a la calle, sería la capa **Outside** y la lista seguiría hacia el interior, donde quedaría la capa de dentro del edificio o **Inside**.

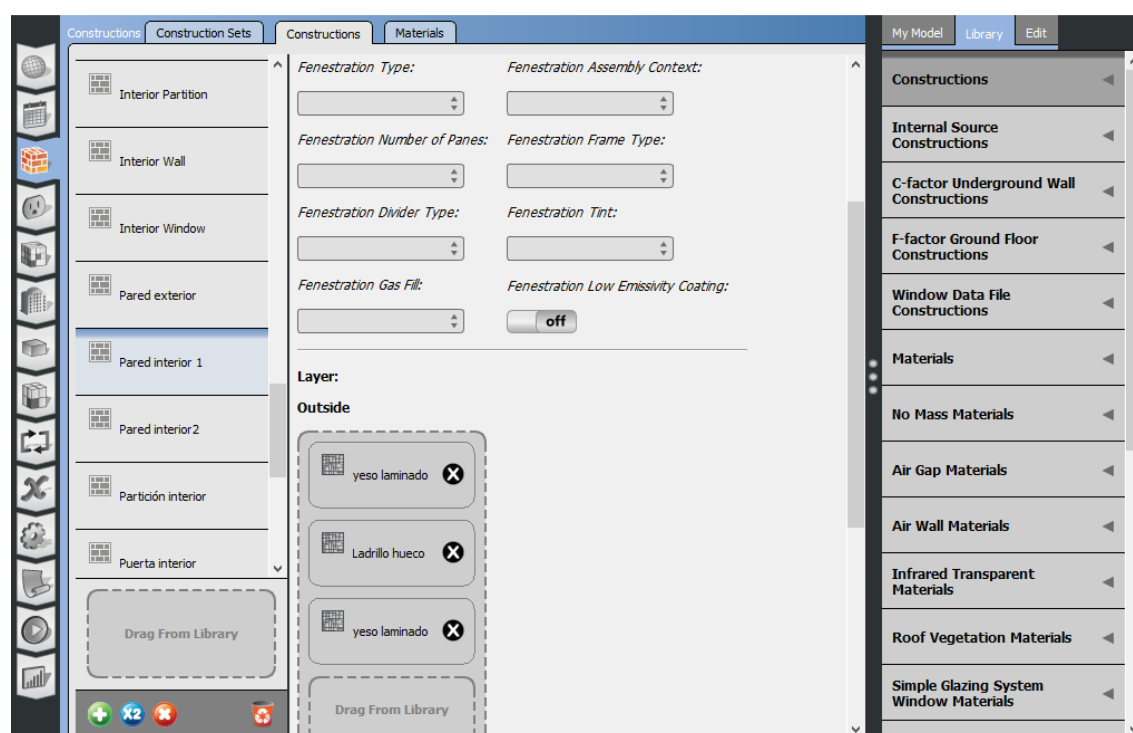


Figura 55. Introducción de construcciones. Partición interior 1.

### 6.5.2.7. Constructions sets

Las construcciones son modelos de energía, cada superficie debe tener una construcción asignada. La construcción determina la transferencia de calor a través de esa superficie. Un conjunto de construcción se puede aplicar a un edificio completo, una historia, un tipo de espacio o un espacio individual. Normalmente las paredes exteriores de un edificio compartirán la misma construcción, como también puede pasar para las superficies interiores.

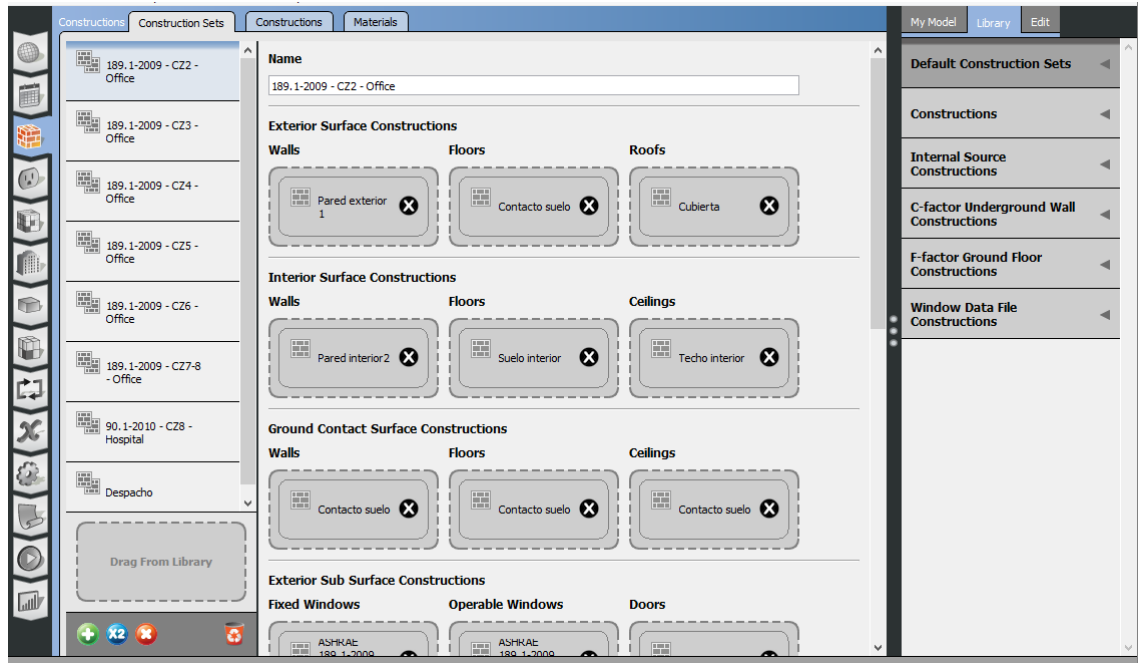


Figura 56. Pestaña de construcción Sets

La estructura que define un objeto conjunto de construcción tiene la estructura similar al conjunto de horarios detallado anteriormente. Hay diferentes categorías de superficies (exteriores, interiores, en contacto con el suelo...) definidas por paredes, suelos y techos, con combinaciones de construcciones creadas por el usuario o importadas por plantillas o modelos desde la BCL.

Los conjuntos de construcciones no tienen por qué tener sets completos, es decir, habrá casos en los que una historia solamente disponga de una pared. Así pues, el conjunto de construcciones definirán constructivamente un espacio, elemento o historia, con las propiedades que se hayan asignado a cada categoría.

#### 6.5.2.8. Loads

En esta pestaña se encuentran las definiciones de carga para todos los objetos de carga interna que alteren el flujo de calor y que se usen en modelo. Las ganancias de calor interno de luces, personas y equipos de diversos tipos a menudo son elementos importantes en el equilibrio térmico de la zona. En **Loads** se puede especificar ganancias de calor para varios tipos de elementos, incluidas personas, luces, equipos de gas/electricidad, entre otros. Estos tipos de cargas se enumeran en los paneles de la derecha.

Cada elemento debe tener el valor de las magnitudes principales que lo definen, estas variarán dependiendo de la clase. Las definiciones de carga interna principales que se suelen usar, y que se van a usar en este ejemplo para la definición del espacio despacho son:

- **People definition:** Los objetos de esta categoría proporcionan ganancias internas propias de los ocupantes de la estancia. El calor se genera en el cuerpo humano por oxidación a una velocidad llamada tasa metabólica, por lo que es preciso tener en cuenta el calor aportado por el mismo. El calor aportado por las personas se puede definir o por el número de personas en la estancia, por las personas por metro cuadrado de superficie y a la inversa. Cada caso introducirá los valores en función de la predisposición del usuario y de su conocimiento.

En este ejemplo, se conoce que en el despacho hay dos personas y tiene una superficie de 22,7 m<sup>2</sup>. Por lo que en la casilla **Space floor area per person** se introducirá el valor de 11,35 m<sup>2</sup>/persona.

En caso de desconocer el número de personas, se ha de utilizar la siguiente tabla orientativa para el cálculo de la ocupación típica y que aparece en UNE-EN 13779:2004 y UNE-EN 13779:2008, tablas 22 y 12 respectivamente, en vez de utilizar la ocupación dada el documento CTE DB SI, ya que esta no se refiere a la ocupación máxima debida a criterios de seguridad.

Tipo de uso	m <sup>2</sup> /ocupante
Oficinas paisaje	12
Oficinas pequeñas	10
Salas de reuniones	3
Centros comerciales	4
Aulas	2,5
Salas de hospital	10
Habitaciones de hotel	10
Restaurantes	1,5

**Tabla 57.** Superficie de suelo por ocupante en m<sup>2</sup>/ocupante.

Fuente: Tabla 22 de la UNE EN13779:2004 y Tabla 12 de la UNE EN13779:2008

Una vez introducido el valor de personas en el espacio, este valor, combinado con el Schedule de ocupación en el recinto, detallará la ocupación exacta horaria en la estancia.

The screenshot shows a software window with a menu bar (File, Preferences, Components & Measures, Help) and a sidebar with icons. The main area is titled 'Loads' and contains a 'People Definitions' panel. This panel lists three definitions: '189.1-2009 - Office - BreakRoom - CZ1-3', '189.1-2009 - Office - BreakRoom - CZ4-8', and '189.1-2009 - Office - ClosedOffice - CZ1-3'. The first definition is selected. The details for this definition are shown in the main area, including fields for 'Name', 'Number of People', 'People per Space Floor Area', 'Space Floor Area per Person', 'Fraction Radiant', 'Sensible Heat Fraction', and 'Carbon Dioxide Generation Rate'.

**Figura 58.** Introducción de definición de personas: Despacho

- **Lights definition:** Este objeto proporciona un modelo para las ganancias internas de luces. Las luces proporcionan ganancias radiantes. Mediante el efecto Joule de la transformación de la energía eléctrica en calor se genera una ganancia de calor interna a la estancia que no se debe despreciar. Se debe detallar los índices de radiación, indicando la potencia por superficie de la estancia  $W/m^2$ . La potencia dependerá del tipo de luz que se emplea (led, halógena, fluorescente...).

Se deberá introducir de forma aproximada los valores de fracción radiante y sensible. Por ejemplo, la entrada eléctrica total a las luces incandescentes típicas se convierte en 10% de radiación visible, 80% de radiación térmica y 10% de ganancia convectiva. Por el contrario, la entrada eléctrica a las luces fluorescentes típicas se convierte en 20% de radiación visible, 20% de radiación térmica y 60% de ganancia convectiva, por lo que cada tipo de luz tendrá un consumo y fracciones radiantes distintas.

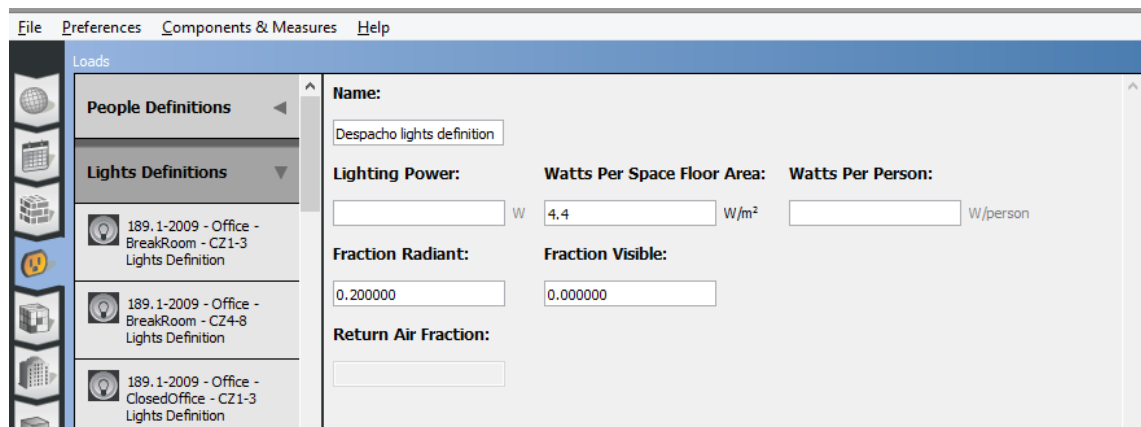


Figura 59.- Introducción de valores de iluminación

- **Definición Equipos eléctricos:** Tiene el mismo funcionamiento que las luces. Se detallan en función de la potencia por superficie  $W/m^2$ . Se ha de tener en cuenta los equipos que se encuentran en cada estancia. En caso de desconocer o no contar con los valores se puede hacer una estimación de la potencia de los equipos, siempre y cuando sean razonables y lógicos. La definición de las potencias por los horarios para los equipos definirá el uso de estos durante el día.

#### 6.5.2.9. Space types

Los tipos de espacio engloban características como cargas internas, conjuntos de horarios y conjuntos de construcción o valores térmicos que definen un espacio. Los tipos de espacio definen uno o más espacios del modelo, siempre y cuando estos tengan características comunes. Los espacios heredan todos los objetos del tipo de espacio asignado, y en caso de modificar cualquier atributo de un tipo de espacio, esto afectará a los espacios que utilicen ese tipo.

Estos elementos se pueden introducir directamente desde esta pestaña o bien pueden irse introduciendo individualmente desde el inspector de Openstudio en el entorno Sketchup. Cuando

se modifica desde Sketchup algún elemento que define un espacio, este se ve afectado en la aplicación de openstudio, y lo mismo pasa cuando se ejecuta al revés, modificando desde la aplicación sus consecuencias se reflejarían en el inspector en Sketchup.

En el caso de que en el entorno Sketchup, inicialmente se haya descargado una plantilla en la herramienta **New Openstudio model from wizard**, los atributos y elementos de esa plantilla aparecerían en la aplicación Openstudio del modelo actual, incluso aunque no se estén usando. Se puede, de igual manera, asignar atributos a los espacios del modelo, en el entorno de Sketchup, proceso ya mencionado anteriormente. En el caso de querer asignar tipos de espacio creados por el usuario a espacios del modelo actual, es necesario previamente seguir los pasos para configurar todos los atributos y elementos que conformen cada estancia.

### General

Esta pestaña se organiza en forma cuadriculada, por lo que se pueden ver todos los espacios del modelo y editar su configuración.

Como en este manual se está introduciendo datos de un despacho, habrá una zona que contenga los elementos constructivos, horarios o cargas propio del despacho. En este caso el space type se podría llamar *Tipo Despacho* o *Despacho space type*. Ver Figura 60

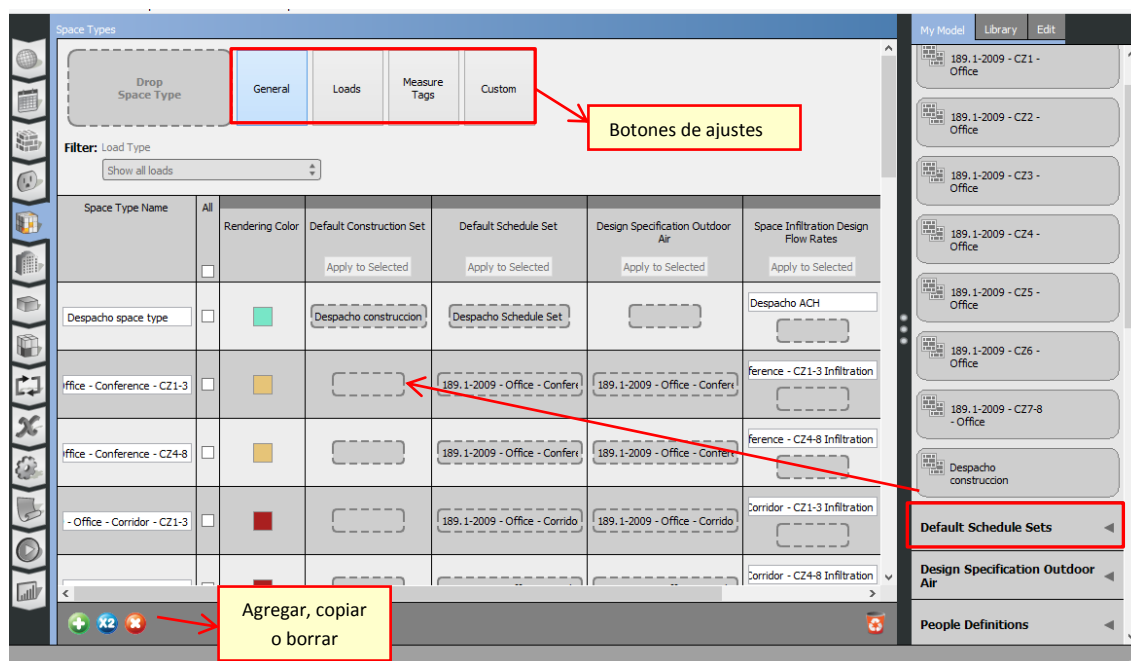


Figura 60. Introducción a space types

En Figura 60 se muestran filas de los tipos de espacio que se pueden usar en el modelo, el tipo de color que conlleva el renderizado por tipos de espacio. Las columnas muestran las construcciones, horarios o infiltraciones que pertenecen a cada tipo de espacio.



Para agregar un nuevo espacio, se ha de clicar el botón (+) situado en la parte inferior de la tabla, como también se pueden usar los botones de crear un espacio copiado o borrar un espacio. Cuando se crea un nuevo espacio, este aparece con las columnas vacías. En esas columnas se ha de arrastrar los elementos creados para este espacio, sus construcciones, horarios...

Para añadir los elementos a sus respectivas columnas, se han de arrastrar desde la pestaña **My model**, o en el caso de querer añadir objetos importados de bibliotecas, se accedería a la pestaña **Library**, pero siempre arrastrando los elementos desde la clasificación apropiada; Si queremos añadir un objeto en la columna de **Construction set**, se buscará en la lista de las pestañas **My model** o **Library** por la definición **Construction set**. En caso de querer colocar elementos que no correspondan a la definición de destino, estos no se agregarán. Otra forma de introducir datos que ya están inscritos en las casillas es mediante la opción **Add to selected**, primeramente se ha de seleccionar el elemento que se quiera trasladar del tipo de espacio de origen, este aparecerá en color amarillo una vez se haya seleccionado, se ha de marcar la casilla propia del tipo de espacio de destino. Este elemento se habrá añadido al tipo de espacio marcado.

En la parte superior aparecen etiquetas de ajuste: General (la que aparece en la Figura 60, Loads, Measure tags...) Las pestañas más importantes por su contenido y por el uso que se le da es **General** y **Loads**.

### **Loads**

En la pestaña **Loads** la esquemática es la misma que para la pestaña General. En ella se recopilarán todos los tipos de espacio posibles del modelo, como en el caso de **General**, pero en este apartado aparecen columnas con definiciones de carga para introducir en cada tipo de espacio. Si en la pestaña General se ha creado un nuevo tipo de espacio, como en este caso *Despacho space type*, en la pestaña **Loads** este espacio también aparecerá, pero con los atributos de carga vacíos.

Para introducir las cargas propias de cada tipo de espacio se han de arrastrar los elementos ubicados en **My model** (o desde librería) desde las listas de origen; People definition, lights definition, etc., ya que inicialmente se deberán rellenar los espacios de la columna *Definition*. Rellenando estos espacios se está indicando el tipo de cargas que se desea para esa zona, en este ejemplo, anteriormente se han creado cargas de personas (people definition), cargas de luces (lights definition), carga de equipos (electric equipment definition) entre otros posibles. Estos elementos, una vez se han arrastrado a la columna *Definition*, automáticamente aparecerán los horarios (schedules) propios de cada carga.

Como se ha dicho anteriormente, el programa calcula la ocupación horaria en el espacio en función del número de personas introducido y lo multiplica por el Schedule de ocupación de personas. Este mismo cálculo lo realiza para cada carga y su respectivo horario. Entonces, al introducir la definición de carga aparece inmediatamente el Schedule que le corresponde a esa carga. La forma en que el programa reconoce qué Schedule debe insertar en el momento que se coloca un tipo de carga en la columna *Definition* es básicamente consultando el Schedule Set que

se ha introducido en el apartado *General* en el tipo de espacio que se está creando, en este caso *Despacho space type*, por lo que este despacho tendrá horarios de ocupación, uso de luces y luces y actividad de personas que se reflejarán cuando se introduce la definición de cada una en el apartado **Loads**. Ver Figura 61.

Así pues, una vez se han introducido las definiciones de cargas en el tipo de espacio, las columnas se auto-rellenan, y en caso de querer modificar algún elemento es necesario seleccionarlo y acudir a la pestaña **Edit** situada a la derecha de la interfaz.

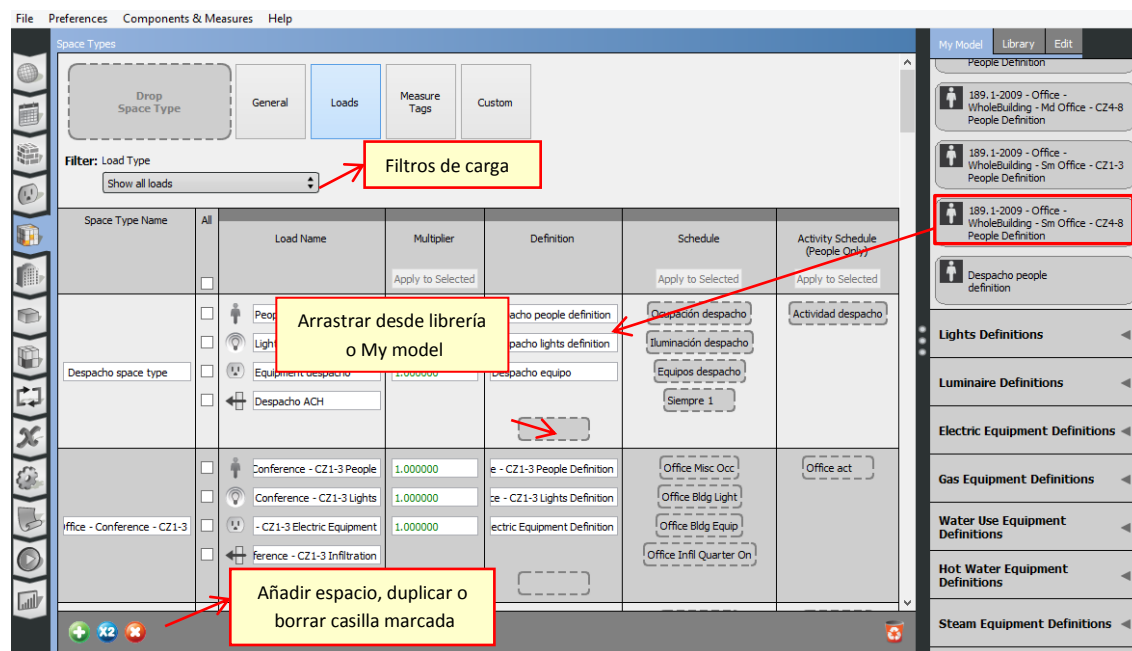


Figura 61. Introducción de cargas de tipos de espacio

#### 6.5.2.10. Facility

Anteriormente, desde antes de la versión 1.9 de **Openstudio Application**, esta pestaña permitía visualizar en forma de diagrama de árbol el edificio total, pudiendo seleccionar niveles para mostrar espacios asignados a ese nivel; viendo los tipos de superficies, subsuperficies, construcciones... Actualmente la pestaña **Facility** incluye configuraciones por defecto para el edificio, historias, sombreado y equipo exterior, y solía ser una vista en árbol. El objeto **Building** contiene elementos de construcción, horarios o tipo de espacio de nivel superior.

La pestaña **Stories** permite agregar y editar las construcciones y horarios por historias. Las historias se pueden asignar desde el entorno sketchup mediante la herramienta **Set attributes for select spaces** o mediante los scripts de usuario. Normalmente las historias se asignan por espacios, por lo que en la pestaña **Building story** aparecerán todas las historias que constituyan el modelo actual.

La pestaña **Shading** es el lugar donde aparecen los grupos de sombreado de nivel de edificio creado con el complemento de Sketchup, mientras que **Exterior equipment** representa los elementos ubicados en el exterior del edificio, como luces.

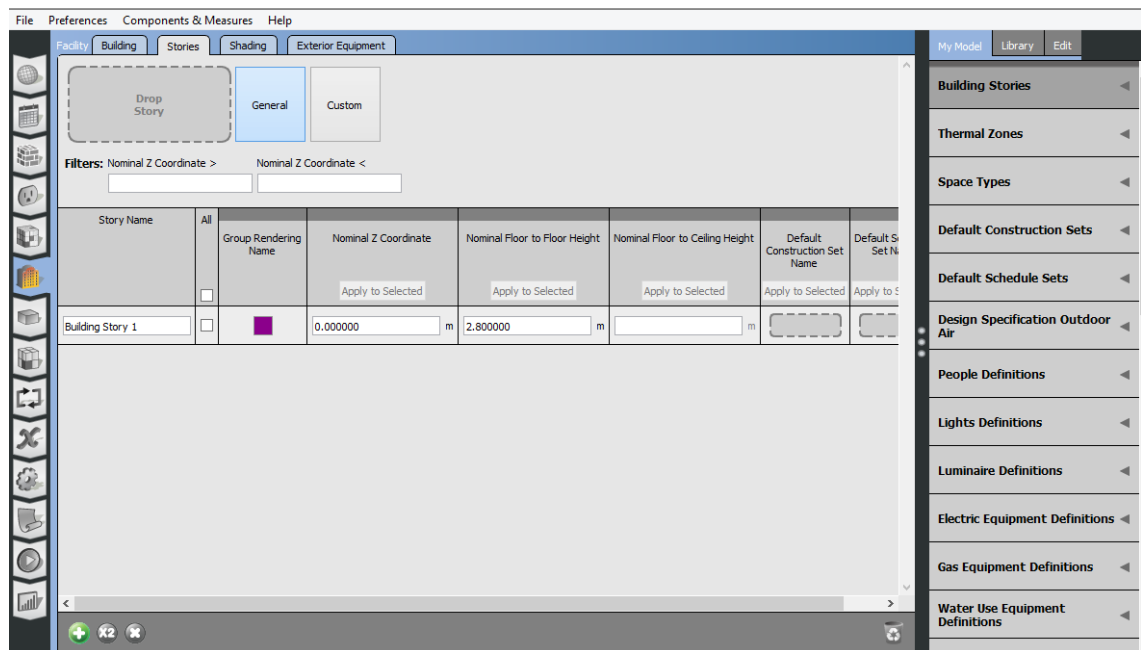


Figura 62. Pestaña de Facility-stories.

#### 6.5.2.11. Spaces

En este apartado se detallan los diferentes espacios del modelo. Los espacios son de carácter físico, y en el momento en que se dibuja un plano geométrico en el entorno Sketchup y se crean nuevos espacios a partir de estas superficies base, estos se añaden automáticamente en la aplicación de Openstudio, por lo que cada espacio creado constará en la pestaña **Spaces**. En esta pestaña se agrupan todos los tipos de espacio que contiene el modelo geométrico, indicando sus atributos y elementos organizados por filas y columnas en sub-pestañas. Cuando un atributo propio de un espacio se selecciona, este aparece inmediatamente en el panel de **Edit**, donde se puede editar y visualizar sus características.

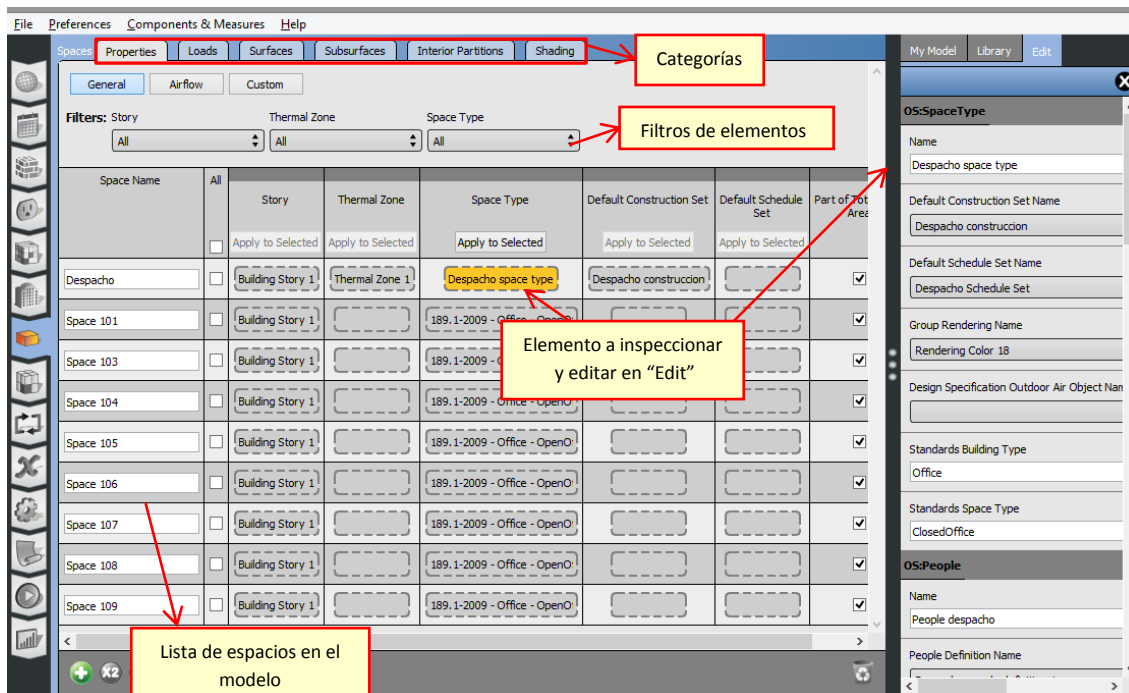


Figura 63. Introducción a la pestaña "Spaces".

En la parte superior existe la posibilidad de filtrar los elementos de cada espacio por historia, zona térmica y tipo de espacio. Encima de esta, hay una barra de pestañas horizontales que permite visualizar los atributos del espacio organizados según:

- **Properties:** En este apartado Los espacios se definen por el tipo de historia, zona térmica, el tipo de espacio, el conjunto de construcciones y los horarios.
- **Loads:** En esta pestaña se encuentran recopiladas todas las cargas (personas, iluminación, equipos...) con sus respectivos horarios introducidos en la sección **Loads**.
- **Surfaces:** En este caso se agrupan las superficies que forman cada espacio, el tipo de superficie de cada una (pared, suelo, techo), la construcción, las condiciones exteriores a cada superficie y la exposición solar.
- **Subsurfaces:** En esta pestaña se agrupan las superficies que contiene cada espacio, nombrando el tipo de sub-superficie (ventana fija, operable...) o la construcción de la que está formada.
- **Interior partitions:** Esta pestaña solo se utiliza en el caso de que un espacio tenga particiones interiores. Normalmente no se da el caso, ya que se escogen espacios donde los límites y perímetros sean superficies.
- **Shades:** En el caso de que un espacio disponga de elementos de sombreado, estos se reflejarán en esta pestaña, pudiendo editar cada elemento individualmente.

Cada elemento que comprende un espacio puede ser introducido uno por uno en cada una de las pestañas y sub-pestañas, o bien pueden introducirse rápidamente en el entorno Sketchup, mediante la pestaña **Set attributes for selected spaces**, mientras se selecciona el espacio a definir. Cuando hay modificaciones en el entorno Sketchup, para que estas aparezcan en la

aplicación Openstudio es necesario guardar el fichero OSM en Sketchup y volver a cargar la aplicación en Openstudio para visualizar los cambios, y lo mismo sucede de forma inversa, cuando hay cambios en la aplicación, se ha de guardar el fichero para que estos se reproduzcan en Sketchup.

Una vez se han introducido los atributos de cada espacio en esta pestaña y sus sub-pestañas o en Sketchup, esta permite visualizar la correcta introducción de datos, dando una información general de los datos recopilados de cada espacio del diseño, y según la pestaña en la que estemos situados aparecerán distintas informaciones. Es imprescindible supervisar cada elemento de forma particular y comprobar que cada espacio tiene las cargas, construcciones o superficies adecuadas para el caso a estudiar, pudiendo ser editadas, excepto en la pestaña horizontal de **Loads** ya que estos atributos se han asignado anteriormente en la pestaña general de **Loads** y solo se pueden modificar desde ahí.

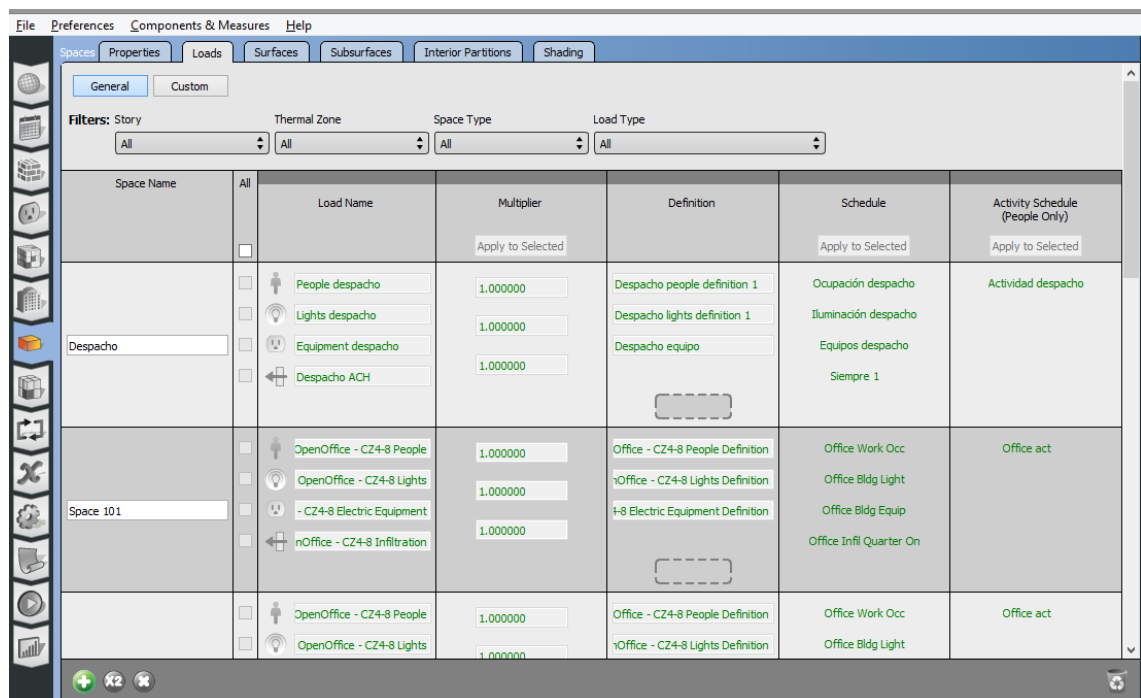


Figura 64. Visualización de la información general de la pestaña "Loads".

#### 6.5.2.12. Thermal zones

Las zonas térmicas se usan para definir un volumen de aire isotérmico que es abastecido por un sistema HVAC con un solo termostato. La zona térmica OpenStudio forma el punto de conexión entre el espacio con aire acondicionado y el equipo HVAC. En el caso de que un terminal sirva varias salas, a estos espacios se les asignará una misma zona térmica. Las zonas térmicas pueden tener múltiples espacios, pero los espacios no pueden tener múltiples zonas térmicas. Las zonas térmicas pueden contener uno o más espacios, y un espacio de OpenStudio contiene geometría tridimensional y cargas térmicas. Cuando OpenStudio realiza una simulación EnergyPlus, los

objetos espaciales asociados con cada zona térmica se combinan geométricamente, se promedian las cargas espaciales y se suman las tasas de ventilación de cada espacio.

En la pestaña de **Thermal zones** podemos definir los parámetros de calefacción, refrigeración y ventilación mediante una serie de sub-pestañas ubicadas en la parte superior.

### **HVAC System**

En esta sub-pestaña se agrupan las diferentes zonas térmicas que puedan existir en el modelo. Como en este ejemplo se modelará un despacho, este tendrá su única zona térmica. En la pestaña HVAC se definen cuatro funciones principales:

- **Flotación libre:** Una opción para el cálculo de cargas térmicas es suponer flotación libre. En esta posibilidad se supone que no existe acondicionamiento ni confort en los espacios, que tiene como objetivo determinar la posibilidad de auto-aclimatación de la zona, estimando el ahorro energético y el cálculo pasivo. Para optar por este modo basta con dejar en blanco todos los espacios de la pestaña HVAC, de forma que no haya termostatos, sistemas terminales, ni cargas de aire ideal.
- **Ideal air loads:** Esta es una forma básica de obtener puntos de calefacción y carga de refrigeración sin tener que definir un sistema HVAC detallado. En este caso se utilizarían termostatos para definir los puntos de referencia.
- **Zone equipment:** En el caso de tener sistemas HVAC, aparecerían los terminales de estos sistemas HVAC. Cuando se añade un sistema HVAC, los bucles de aire ideales desaparecen. Si no se desea un sistema HVAC, esta categoría aparecerá vacía.
- **Thermostats:** Estos apartados permiten insertar termostatos para la calefacción y la refrigeración. Estos termostatos estarán organizados en horarios, como podría ser *TCalefacción* y *Trefrigeración*, que previamente tendrán que haberse creado en el apartado **Schedules**, pudiendo suponer temperaturas constantes de calefacción y refrigeración. Esta opción complementa los bucles de aire ideales. Para añadir termostatos se ha de arrastrar desde **My model** o desde **Library**.

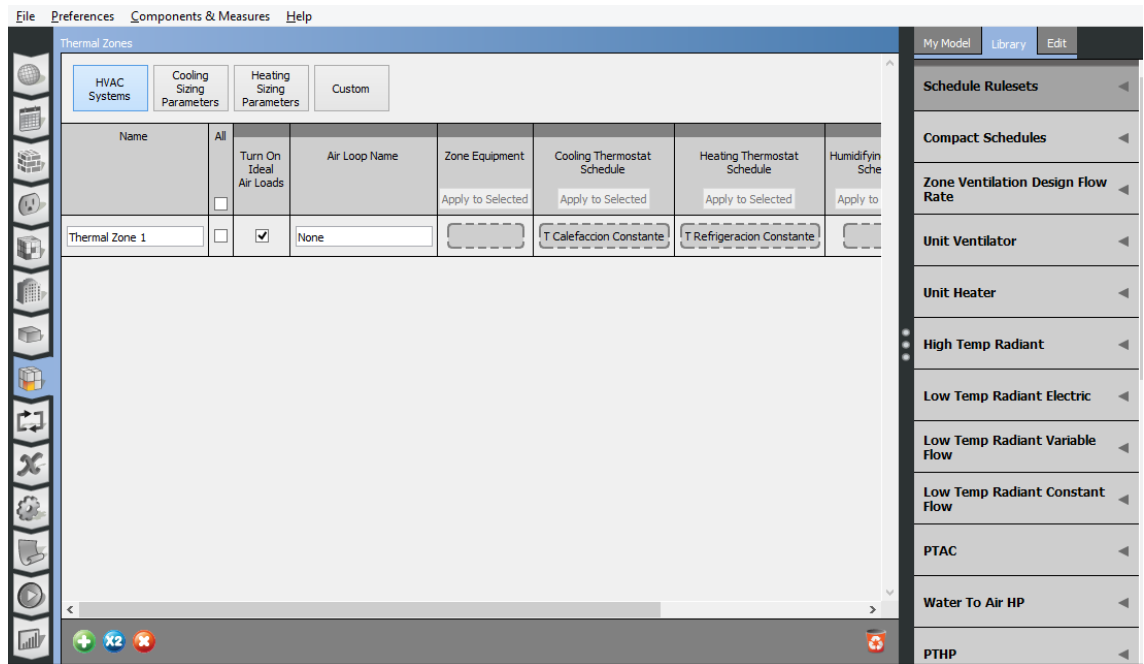


Figura 65. Introducción de datos HVAC, sistema de aire ideal mediante termostatos

### Cooling and heating sizing parametres

En esta pestaña se encuentran parámetros para definir la temperatura de suplemento de aire, la humedad y el cabal de aire mínimo. En estos casos cuando se crean zonas térmicas estos parámetros se autorellenan. Por defecto añade una entrada de aire para refrigeración de 14°C y 40°C para calefacción. El cabal mínimo que EnergyPlus impone es de 0,000762 m<sup>3</sup>/s y de 0,002032 m<sup>3</sup>/s, por lo tanto este apartado no será prescindible modificarlo.

#### 6.5.2.13. HVAC Systems

Esta pestaña se usa para crear, inspeccionar y editar sistemas HVAC con bucles predefinidos y gráficos. Cada sistema se tendrá que crear de nuevo.

Para agregar una nueva plantilla un nuevo bucle vacío se ha de clicar el botón (+) situado en el lateral izquierdo superior, pudiéndolos eliminar con el icono (x). Cuando se añade un nuevo sistema aparece una ventana emergente que contiene distintas opciones de sistemas HVAC; bombas de calor, sistemas de expansión directa, sistemas VAV de aire, calentadores de gas, circuitos de ACS, sistemas vacíos... Estas definiciones vienen acompañadas por iconos con cuatro imágenes dentro. De izquierda a derecha representan el tipo de refrigeración, calefacción, ventilador y unidad terminal en la plantilla.

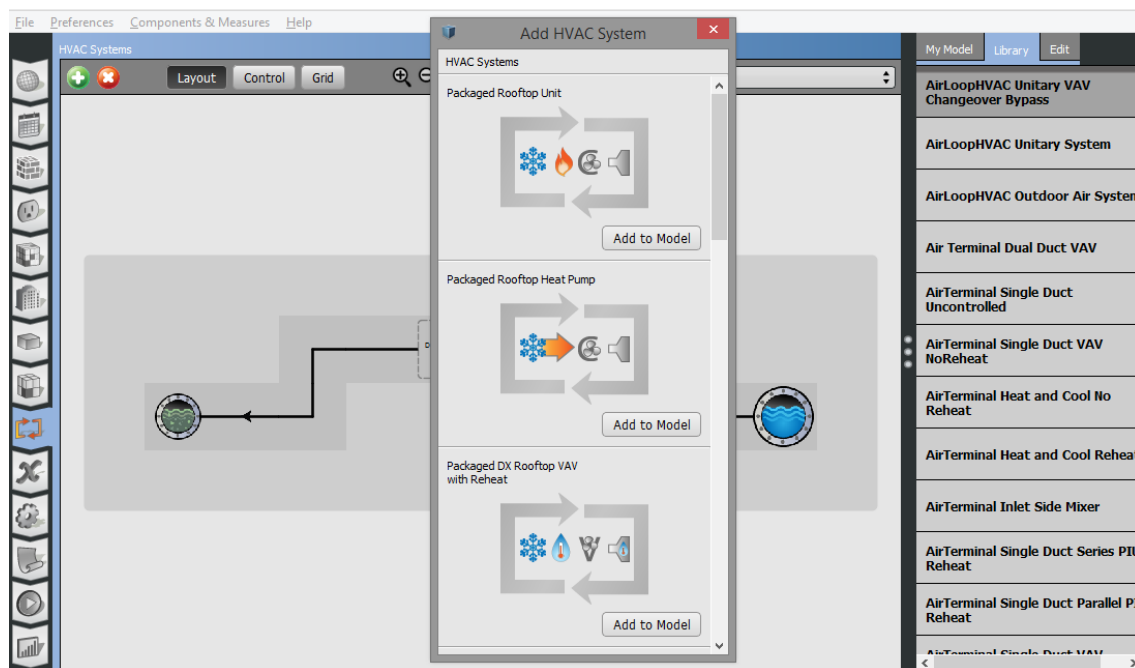
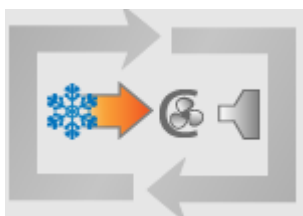


Figura 66. Introducción a los sistemas HVAC.

### Sistemas con plantilla

Si se quiere introducir un sistema HVAC mediante bucles de plantillas, es necesario seleccionar alguna de las opciones de la lista que aparece al añadir un nuevo sistema. Si se selecciona la opción:



Este bucle representa un sistema de bomba de calor para calefacción y refrigeración. Cuando se acepta la opción **Add to model** aparece la Figura 67.

La mitad superior del bucle es para los equipos de suplemento, la mitad inferior es para los objetos de demanda. Se puede ver que cada objeto que forma el sistema está representado por iconos representativos, así se facilita el reconocimiento de cada uno. Se puede obtener información de cada uno de los objetos clicando sobre ellos, y estos aparecerán en el panel de **Edit** de la parte lateral de la interfaz. En la pestaña se puede observar el nombre del objeto, sus características y valores predefinidos, pudiendo ser modificados en cualquier ámbito.

En esta plantilla se dispone, en el lado de suministro, de un sistema de expansión directa con bobina de refrigeración y otra para calefacción, un apoyo eléctrico para calefacción, un sistema de Setpoint. El "Setpoint manager" es un administrador de puntos de referencia que puede acceder a



los datos de cualquiera de los nodos del sistema de HVAC y usar estos datos para calcular un punto de ajuste (generalmente un punto de referencia de temperatura) para uno o más nodos del sistema de HVAC. Por último en la parte de demanda aparece un conducto de terminal de aire, y se deberá asignar las zonas en las que existen terminales.

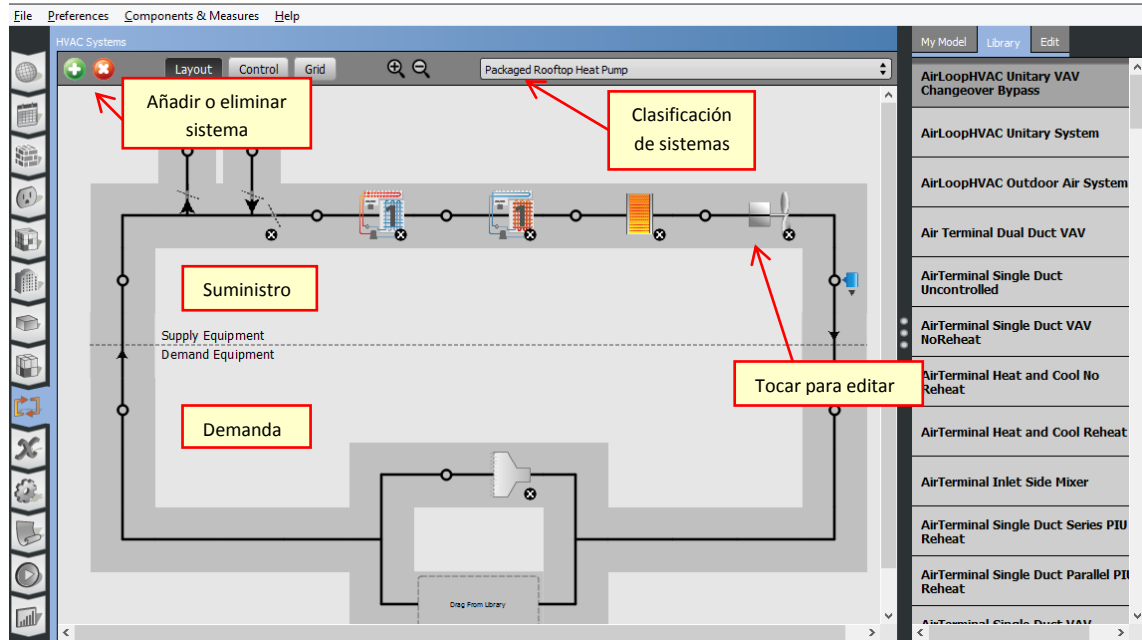


Figura 68. Introducción a sistemas HVAC con plantillas

Será necesario asignar recintos del modelo al sistema, en el caso de que el recinto disponga de sistema HVAC. La asignación se realizará en la parte de demanda del bucle, seleccionando la parte de “repartidor” en la derecha del terminal, en este caso, de aire.

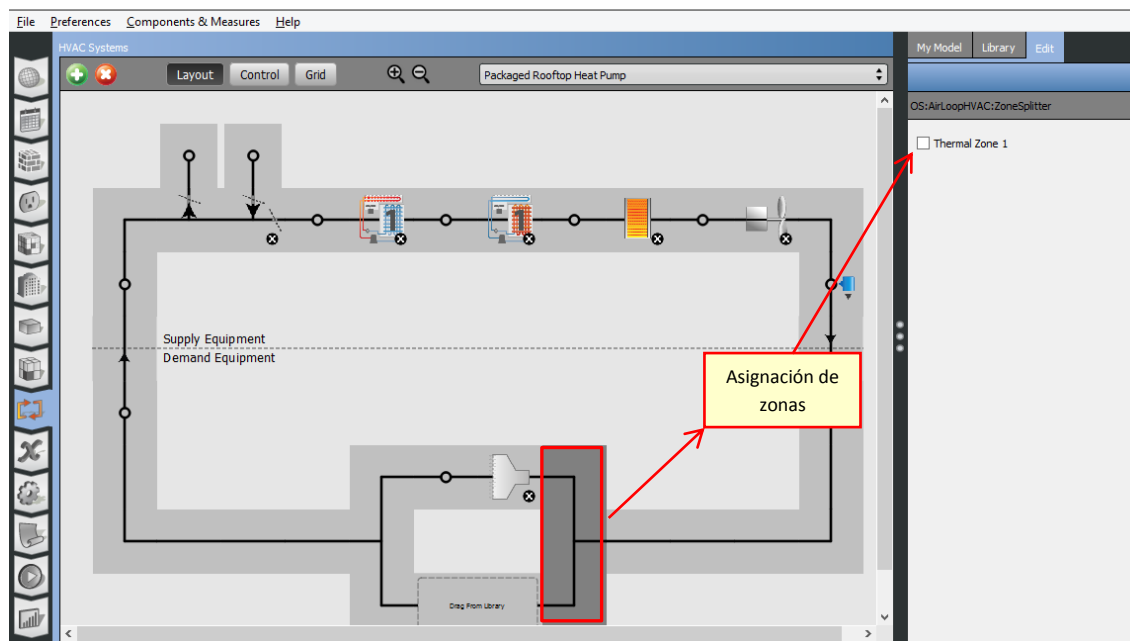


Figura 69. Asignando zonas al sistema HVAC

En el momento en que se selecciona el terminal, se abre en la pestaña **Edit** las diferentes zonas térmicas de cada espacio, por lo que es necesario tener en cuenta que anteriormente se había asignado a cada espacio su zona térmica y que ahora se le asignará su sistema HVAC, en caso de disponer de uno. Se asigna el sistema HVAC actual a los espacios a los que se quiera vincular. En el momento en que se selecciona el recinto con su respectiva zona térmica, se modifica el bucle, generándose un nuevo icono en la parte de demanda indicando una nueva zona donde se le añade el terminal ver Figura 70.

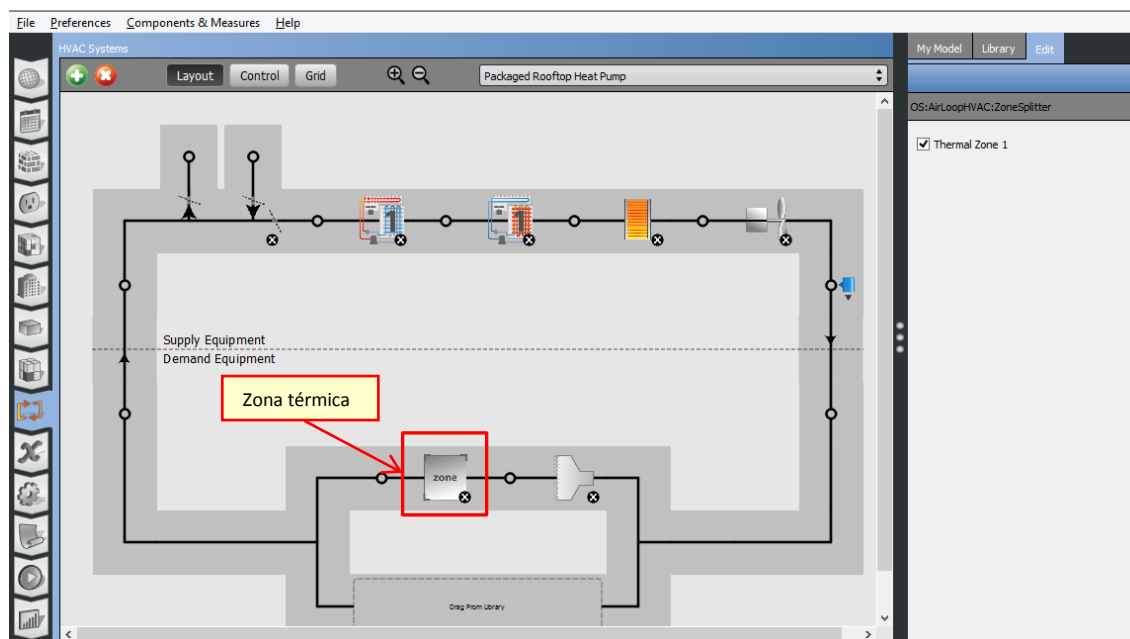


Figura 70. Asignación de zonas al sistema

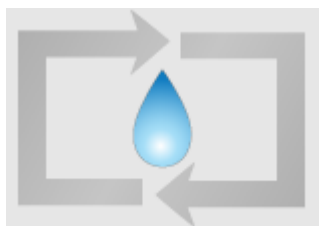
Si se acude de nuevo a la pestaña **Thermal zones** del menú izquierdo de la interfaz, se observará que, al asignar un sistema HVAC con terminales a un recinto, este se reflejará en las casillas de **Air loop name** y **Zone equipment**, y al disponer de un sistema HVAC, la opción **Turn on ideal air loads** se desactivará automáticamente.

Name	All	Turn On Ideal Air Loads	Air Loop Name	Zone Equipment	Cooling Thermostat Schedule	Heating Thermostat Schedule
	<input type="checkbox"/>			Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected
Thermal Zone 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	packaged Rooftop Heat Pump	Single Duct Uncontrolled 1	T Refrigeracion Constante	T Calefaccion Constante

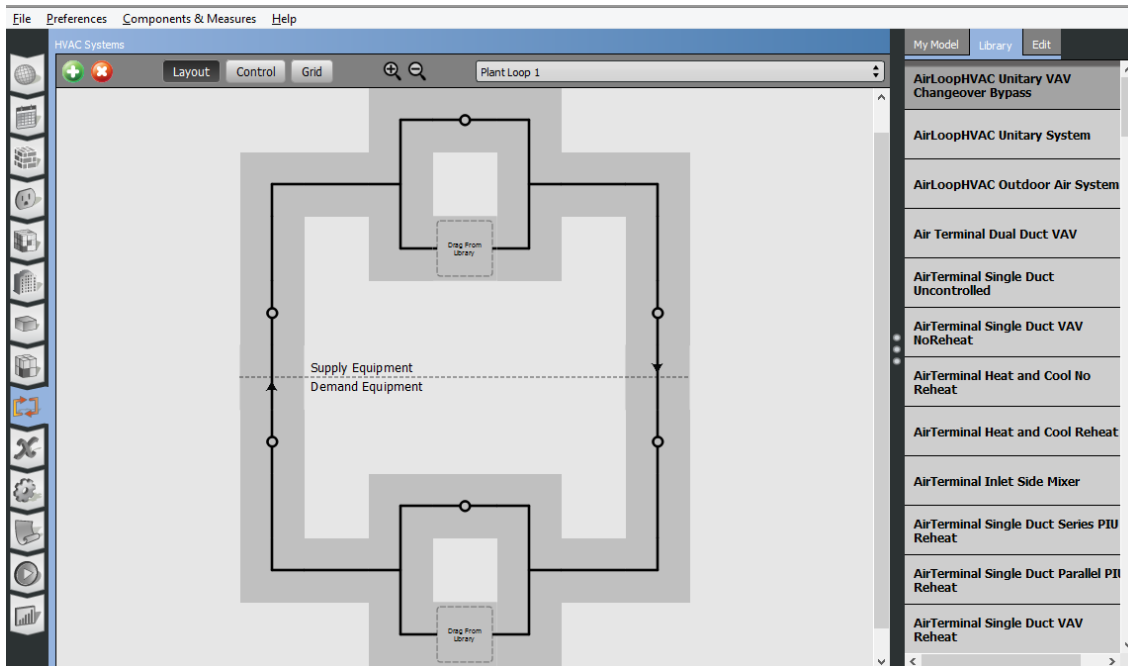
**Figura 71.** Cambio automático en “Thermal zones” al insertar sistema HVAC  
Fuente: Propia

### Sistemas vacíos

Otra posibilidad de añadir sistemas HVAC es mediante sistemas vacíos, de forma que cada elemento se ha de añadir desde cero. Para añadir un sistema vacío se ha de clicar el botón (+) y buscar en el final de la lista los bucles **Empty loop**. Por ejemplo, se añade el modelo:



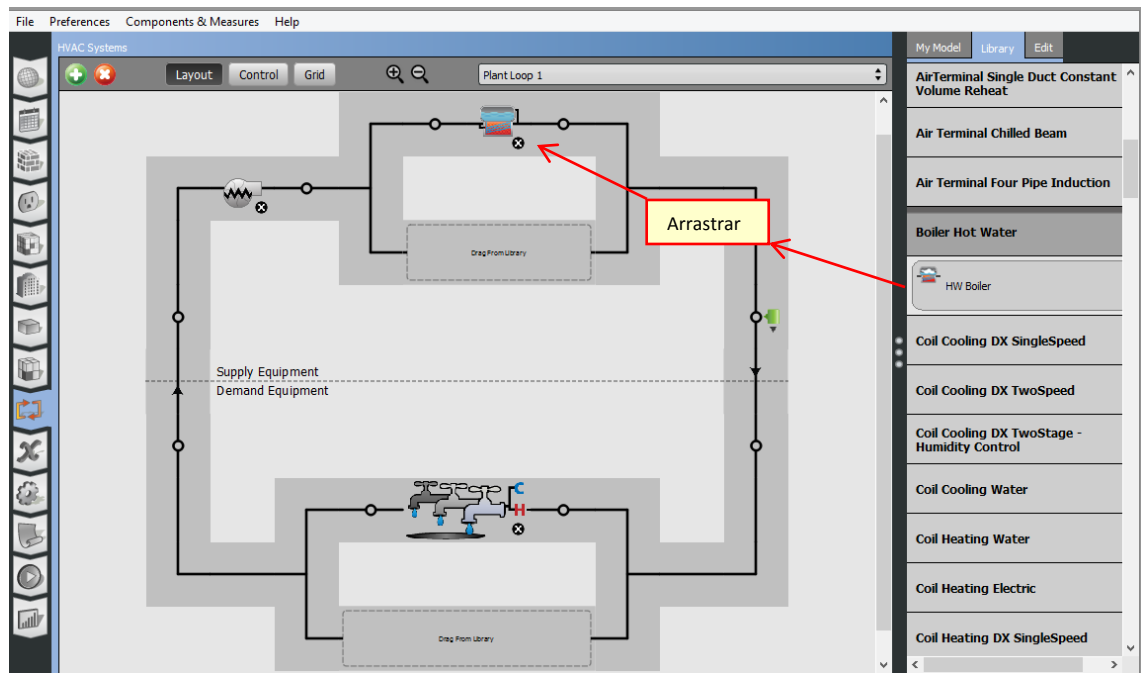
Este icono se podría usar para añadir un bucle de agua caliente sanitaria (ACS), entre otras muchas opciones. Cuando se acepta la opción **Add to model** se abre un bucle vacío ver Figura 72.



**Figura 72.** Añadir sistema vacío.

Se deberán añadir los objetos para crear el sistema propio mediante la librería o mi modelo. Normalmente se añaden objetos importados de la librería. Existe un fichero de plantilla con elementos HVAC que se descarga cuando se instala el software, por lo que se incluye por defecto en el ordenador y se encuentra en la pestaña **File>Load library>hvac library**. Esta librería de componentes contiene series de objetos para cada lista del sistema HVAC.

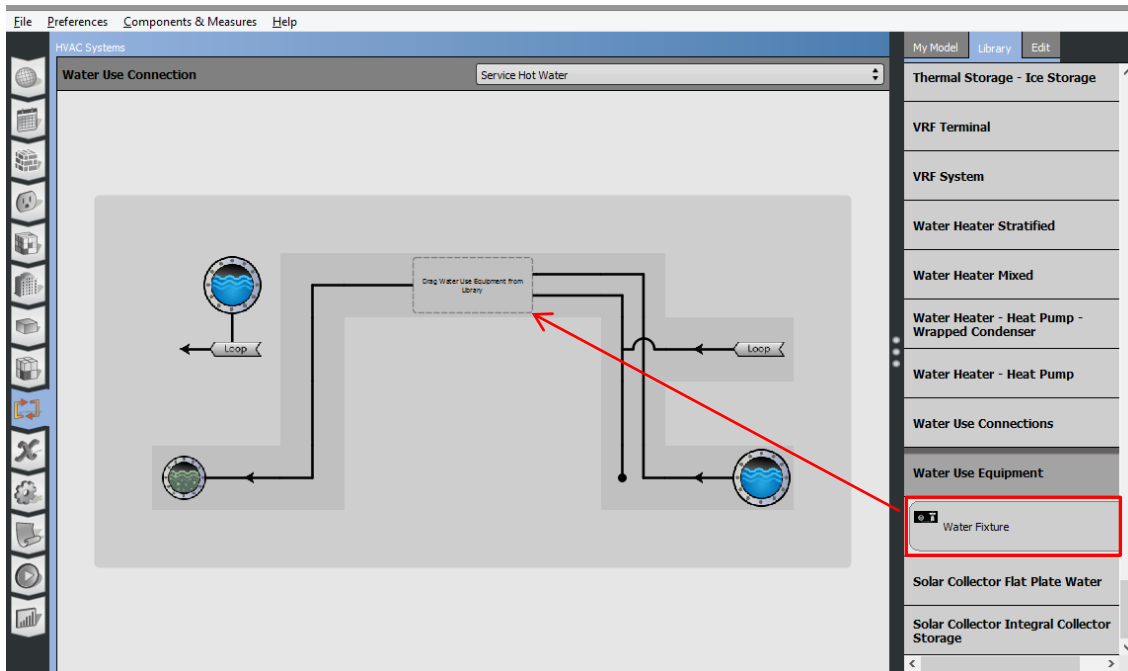
Entonces, en el caso de querer crear un sistema para ACS, se introducirá, por ejemplo, una caldera o calentador, un "Setpoint manager", una bomba hidráulica y los elementos terminales (grifos, duchas...). El esquema quedaría de la siguiente manera ver Figura 73.



**Figura 73.** Introducción de objetos al sistema vacío

Clicando sobre cada objeto se puede modificar sus parámetros en el panel de “Edit”. Por ejemplo, en el caso del calentador se podrán modificar aspectos como; Nombre, Tipo de fuel, eficiencia térmica, Temperatura de agua, caudal de agua... Siendo algunos parámetros automodificables. Es recomendable que el termostato “Setpoint manager” tenga asignado un horario de actuación, este se puede crear en la pestaña **Schedules**, pudiendo controlar una temperatura constante de agua en el interacumulador de 60°C, entonces el Schedule sería de tipo *Temperatura* y con un horario constante a 60°C.

Para definir los objetos terminales o de equipamiento de agua es preciso clicar sobre el icono de los grifos de la parte de demanda. Se abrirá una nueva ventana donde se podrá arrastrar los terminales de agua, como sería “Water fixture” ver Figura 74. Una vez insertado el objeto se deberá modificar sus propiedades de acuerdo a la definición real.



**Figura 74.** Introducción de elementos terminales de ACS

#### 6.5.2.14. Output variables

En esta pestaña aparecen todas las variables de salida posibles. Estas variables vienen por defecto en "Off", por lo que se activarán todas las variables a reportar cambiando el estado a "On". Cuando se activa una variable se ha de indicar el nivel (horario, diario, mensual...), que normalmente se escoge la reportación horaria. Se escogerán las variables a reportar dependiendo del análisis que se quiera emplear, ya que la lista de posibilidades es muy extensa.

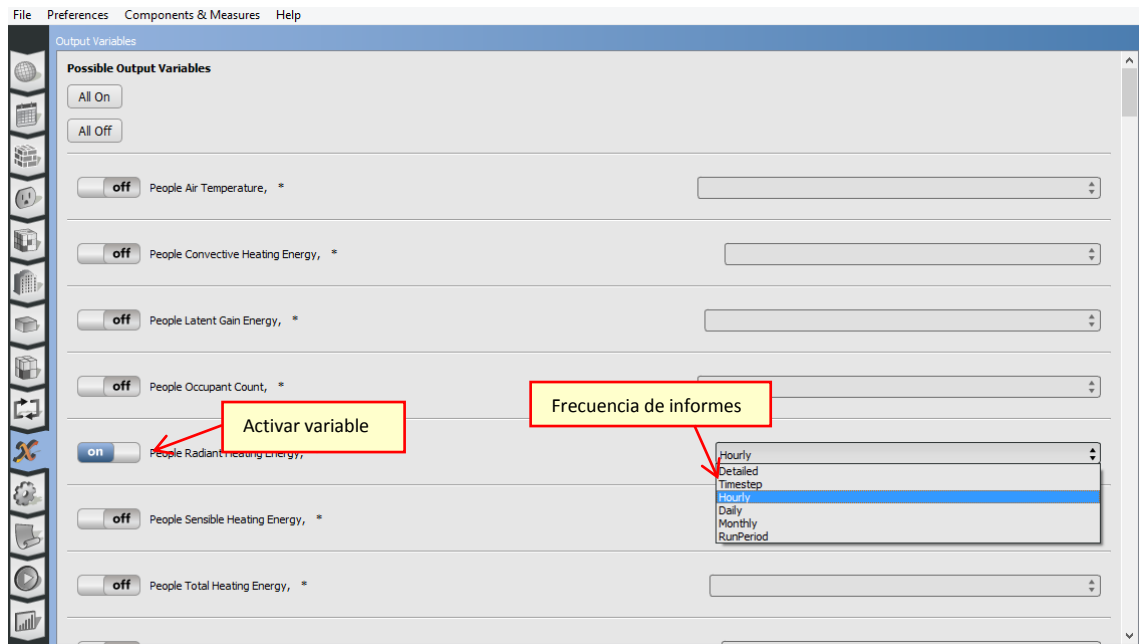


Figura 75. Reportación de datos

#### 6.5.2.15. Simulation settings

La pestaña Configuración de simulación permite inspeccionar y personalizar muchas de las configuración de simulación utilizada por EnergyPlus.

- RunPeriod
- Simulation Control
- Sizing Parameters
- Program Control
- Timestep
- Output Control Reporting Tolerances
- Convergence Limits
- Shadow Calculation
- Surface Convection AlgorithmInside
- Surface Convection AlgorithmOutside
- Heat Balance Algorithm
- Zone Air Heat Balance Algorithm
- Zone Air Contaminant Balance
- Zone Capacitance Multiple Research Special

#### 6.5.2.16. Measures

En esta pestaña podemos encontrar medidas de Openstudio, EnergyPlus o Reporting. Para entender que son las medidas y como se descargan y usan se ha de leer la sección de Building component library.

### 6.5.2.17. Run simulation

Esta es de las últimas pestañas para realizar la simulación. Este paso es el penúltimo paso, y se ha de realizar una vez se hayan completado todos los pasos y rellenado las pestañas anteriores a esta. En esta casilla se ejecuta la simulación. Para activarla se ha de clicar el icono (▶) verde en la parte superior de la interfaz.

Una vez se ha clicado el botón, se inicia una barra verde que indica el porcentaje de progreso de la simulación, como se muestra en la Figura 76. En el momento que la barra llega al 100% el progreso ha finalizado, y en cualquier caso indica el estado del proceso y si se producen errores o no.

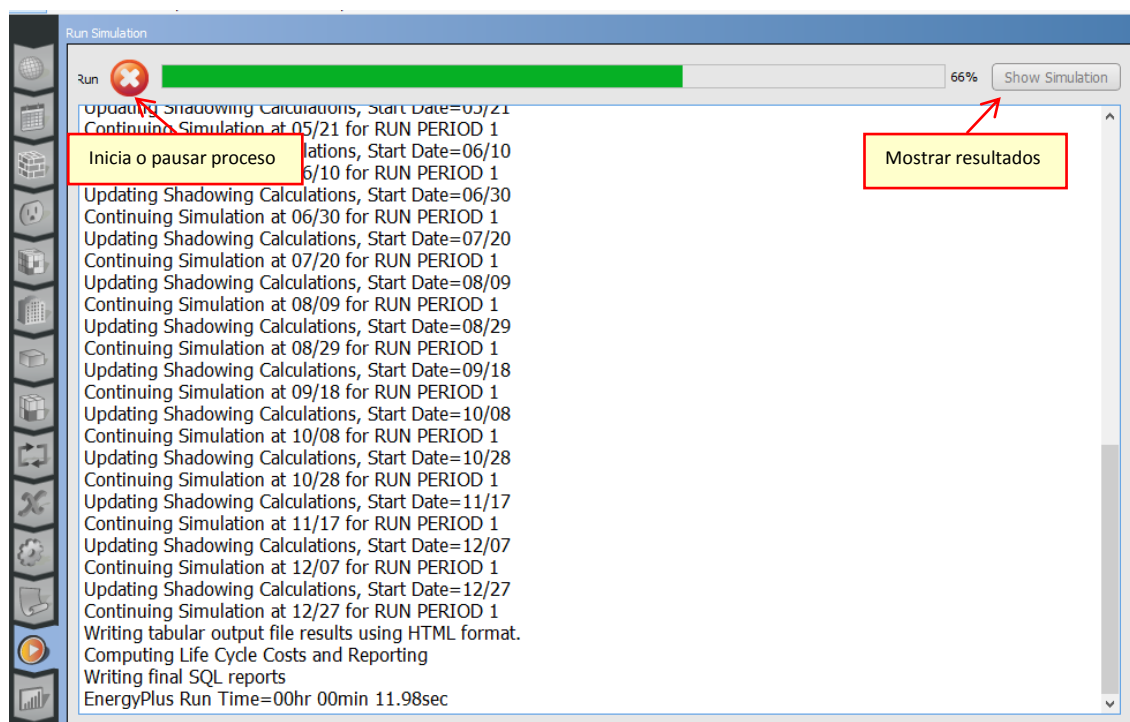


Figura 76. Pestaña de Run Simulation. Completando la barra de progreso.

Para visualizar resultados se ha de acceder a la pestaña **Show Simulation**. En ella aparecen ficheros propios de EnergyPlus, como MDD, ESO, RDD, EIO... vistos en la sección de de EnergyPlus.

EP-Launch. El fichero más destacado y útil será el de errores y salidas **Eplusout**. En este fichero de bloc de notas se anotan las advertencias desde leves (Warning) hasta graves (Severe). En cualquier caso aparece el motivo del error, y en el caso de tener errores graves se ha de observar el motivo y corregirlo desde la pestaña que pertoque, para posteriormente volver a realizar la simulación y comprobar que los errores han desaparecido. En el caso de tener errores Warnings estos no son de suma importancia y normalmente no se les presta atención.



### 6.5.2.18. Results summary

En esta última pestaña finaliza la simulación. En ella se resumen los resultados y datos después de ejecutar la simulación. En ella podemos encontrar informes estándar como:

- Resultados Openstudip
- Calibración Openstudio
- Resultados EnergyPlus

Estas opciones se pueden encontrar en la pestaña **Reports** situada en la parte superior izquierda ver Figura 77.

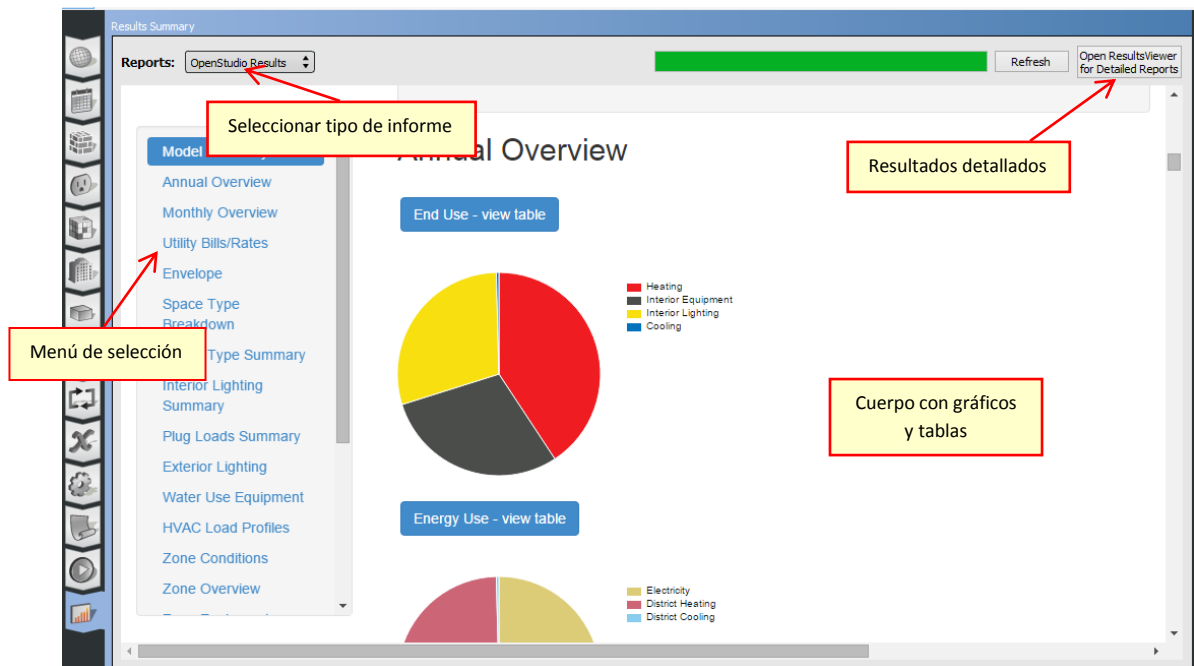


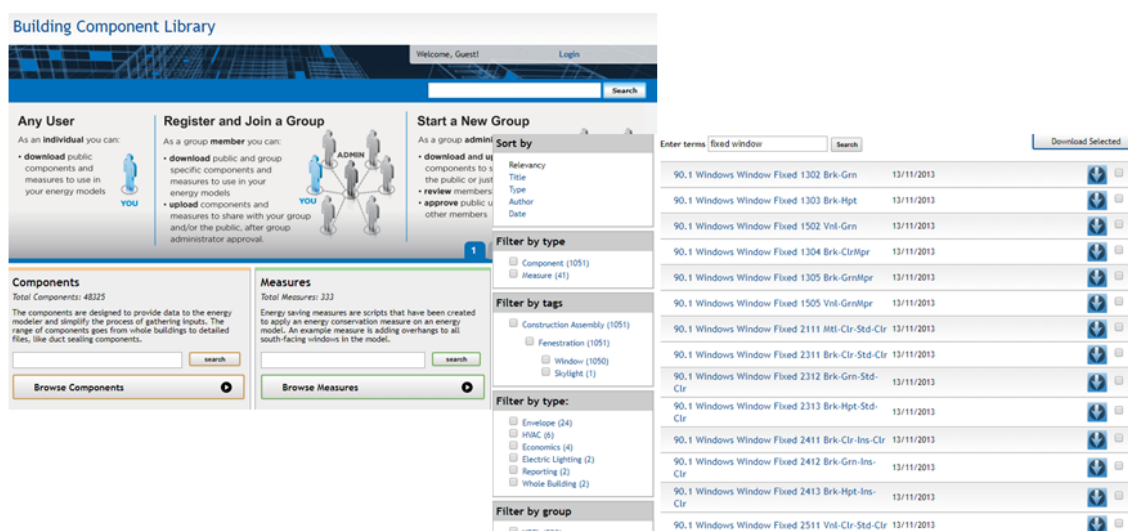
Figura 77. Informe de resultados de Openstudio

Los resultados de Openstudio tienen una lista de elementos en la parte izquierda, un tipo de menú que permite ver las diferentes partes del informe con solo clicar. En la parte central se encuentran todos los resultados en forma de gráficos y tablas que han sido diseñados para mejorar el entendimiento general y ayudas a solucionar problemas.

Si se quiere modificar o cambiar de informe solo hace falta cambiarlo en la barra de **Reports** al tipo de informe que se quiera visualizar. En la parte superior derecha se encuentra la barra de estado con la posibilidad de refrescarla y actualizar el contenido. En la parte superior derecha está la pestaña **Open ResultsViewer for Detailed Reports**. Este botón permite crear líneas de series temporales representaciones para las variables que se solicitaron en la pestaña **Output variables**.

### 6.5.3. Building component Library (BCL)

La Biblioteca del Componente de Construcción (BCL) es la biblioteca en línea del Departamento de Energía de Estados Unidos de componentes de construcción que se puede usar para crear modelos de energía. La biblioteca de búsqueda consta de componentes y medidas, así como de los metadatos que los describen. Está diseñada para permitir agregar nuevos componentes, por lo que cualquier usuario puede usar los componentes de libre acceso y únicos para crear sus modelos de energía, pudiendo descargarlos, mediante la lista estandarizada de componentes de continuo crecimiento para el aprovechamiento por parte de los usuarios. La página oficial es <https://bcl.nrel.gov/> La primera vez que se abre la ventana principal se le solicita una clave API, a menos que ya haya utilizado la funcionalidad BCL en el complemento SketchUp.



**Figura 78.** Página principal y descargas en la aplicación de Building Component Library BCL

Los componentes del BCL pueden añadirse a los modelos de energía, ya que pueden representar características físicas del edificio, como techos, paredes y ventanas, o pueden referirse a información operativa, como horarios de ocupación, horarios de equipos e información meteorológica. Los componentes contienen un conjunto de atributos identificativos que son específicos de su tipo.

En el BCL no solo se pueden encontrar componentes, sino que también contiene medidas de conservación de energía (ECM), denominadas medidas. En el diseño de edificios y modernizaciones, los términos de medida de eficiencia energética (EEM) y medida de conservación de energía (ECM) hacen referencia a un cambio específico que se puede hacer a un edificio para reducir su uso de energía. Por ejemplo, si se está rehabilitando un edificio existente y uno de los ECM sugeridos es "Agregar aislamiento al techo", entonces, la aplicación de esta medida modificará rápidamente el modelo existente. Openstudio identifica una medida como el conjunto de instrucciones programáticas que realiza cambios en el modelo energético cuando se aplican. En el ejemplo de aislamiento de techo, la medida encontraría las construcciones predeterminadas utilizadas por las superficies del techo para, copiar la construcción y agregar

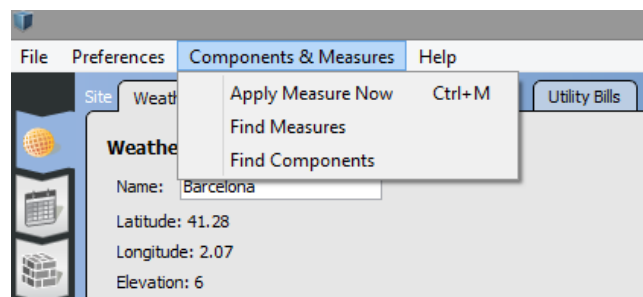
aislamiento a la nueva configuración para ser utilizada de forma predeterminada como construcciones de techo. Las medidas pueden aplicarse para un modelo individual o bien para un conjunto grande, siendo estas últimas de tipo genéricas.

Algunos beneficios de aplicar medidas son:

- Reducción de tiempo y costo de modelado
- Encontrar ahorros más profundos
- Reducción de los costos administrativos y de capacitación.
- Mantener la calidad y la consistencia.

Para el BCL, las medidas tienen distintas y variadas aplicaciones. En el BCL se pueden encontrar más de 30.000 componentes y medidas, que se pueden buscar fácilmente mediante el mecanismo de búsqueda de filtración de resultados utilizando varias facetas. Las categorías de las facetas incluyen tipos de componentes y medidas, etiquetas, atributos (zona climática o número de cristales), entre otros tipos de filtrado. También se puede buscar un componente o medida mediante una palabra clave, y directamente aparecerán los resultados posibles relacionados con esa palabra, para después descargarlos en el ordenador.

Se puede acceder a los componentes y medidas en el entorno de **Openstudio Application**, en el menú **Components & Measures**. Si se hace clic en la pestaña se abre una lista con las opciones **Apply measure now, find measure, Find component**.

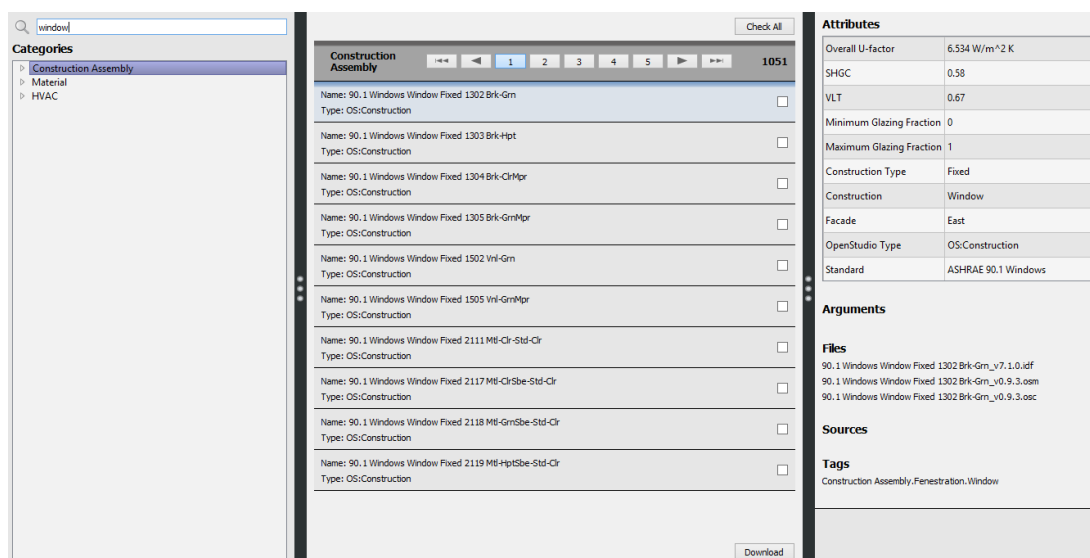


**Figura 79.** Pestaña de Components & Measures de la aplicación Openstudio

**Apply Measure Now:** Esta pestaña sirve para aplicar una medida al modelo actual, alterándolo de forma permanente. Esta herramienta solo se aplica para medidas de Openstudio vs. EnergyPlus o Reporting. En el caso de no querer modificar el modelo actual abierto, este se debe guardar antes de usar la herramienta. Cuando se accede a esta función, antes de aplicar la medida aparecen dos opciones; Primero se puede cancelar la medida después de inspeccionar los registros reportados por la misma, si se acepta la medida, el modelo se actualizará pero no se guardará aún. En caso de que el modelo no resulte el esperado se puede volver al modelo previamente guardado.

**Find measures/components:** Estas herramientas sirven para acceder al BCL online, anteriormente explicado, para no tener que acceder vía web a la biblioteca online. Por lo tanto, al acceder a find measures o find components se podrán rastrear tanto medidas como componentes en función de

los cambios y resultados que queramos registrar. En estos casos, no se dispone de los filtros propios de la BCL web, sino que se dispone de una lista de categorías disponibles de componentes o medidas.



**Figura 80.** Descarga de componentes en la pestaña de Components & Measures

Así pues, en la pestaña de **Measures** de la aplicación de Openstudio se encontrarán todas las medidas que se hayan descargado desde la BCL. Cuando se descargan medidas o componentes estas aparecen en la lista del panel derecho en el apartado **Measures**, como se ve en la Figura 81. Cuando en el modelo tenemos medidas, estas aparecen según su categoría en el apartado derecho en la pestaña **Library**, y para conocer las medidas que se guardan o que una lista dispone aparece un número en el lado derecho de cada categoría.

Cuando se descargan medidas desde la BCL, dentro de la categoría donde pertenezca la medida aparecerá con el antenombre “BCL”. En este caso se ha descargado la medida **Openstudio Results** para poder visualizar los resultados e informes propios de Openstudio. Se pueden descargar todas las medidas que se desee y que estén disponibles, dependiendo de las necesidades de cada caso y de los resultados que se quiera obtener.

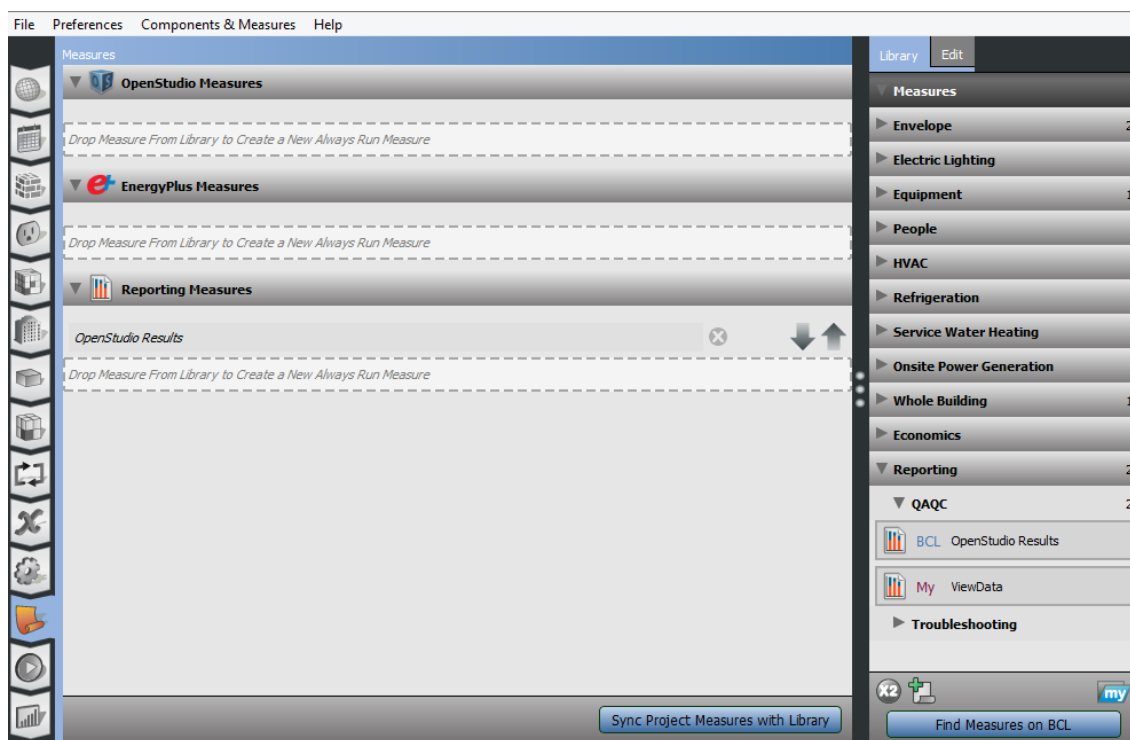


Figura 81. Introducción a la pestaña Measures

## 7. Definición del edificio de estudio y simulación energética con EnergyPlus

### 7.1. Planificación

Antes de comenzar una simulación es importante planificar el método de estudio y los pasos que se van a seguir para abordar todo el trabajo. Se trata de buscar unos pasos preliminares que ayuden a facilitar el modelado y la simulación del edificio objeto. Es comprensible que cada usuario tenga claro sus pasos y su metodología, no obstante, a continuación se sugiere una lista para poder proceder:

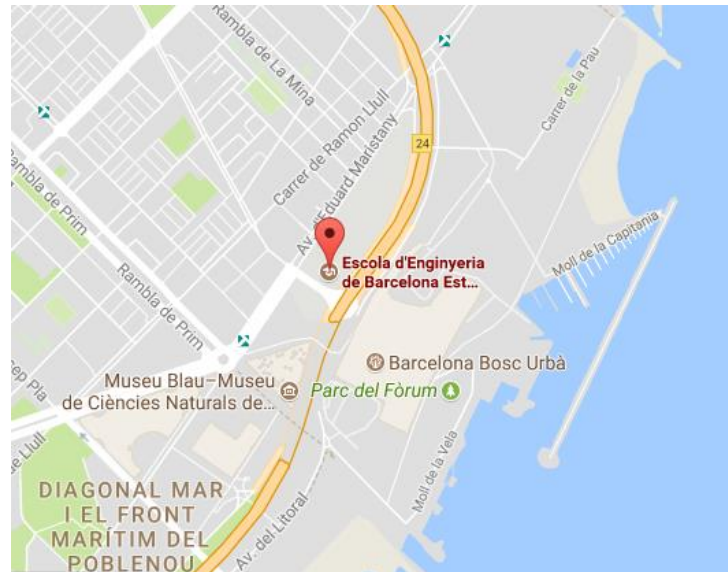
1. Obtener toda la información sobre el edificio: localización, ciudad, ubicación
2. Obtener todo tipo de planos detallados y memorias constructivas
3. Obtención de todos los datos posibles sobre el material y las construcciones del edificio
4. Obtener información sobre los horarios de ocupación, iluminación, equipamiento, horario de termostatos.
5. Obtener datos sobre el tipo de iluminación, equipos eléctricos, sistemas de climatización.
6. Obtener información sobre la geometría del edificio para poderlo simular.

Es muy importante, antes de comenzar la geometría, conocer todos los datos posibles referentes al edificio, para posteriormente realizar la geometría de la forma correcta. Antes de comenzar se ha de dedicar tiempo a pensar de qué forma se va a simular, de qué datos se quiere disponer, qué conocimientos se tiene, qué se quiere conseguir, qué simplificaciones se realizarán...

Cada modelador realiza el trabajo según su criterio, ya que la simulación tiene muchas formas de llevarse a cabo y hay infinitas posibilidades de modelar.

### 7.2. Localización del edificio

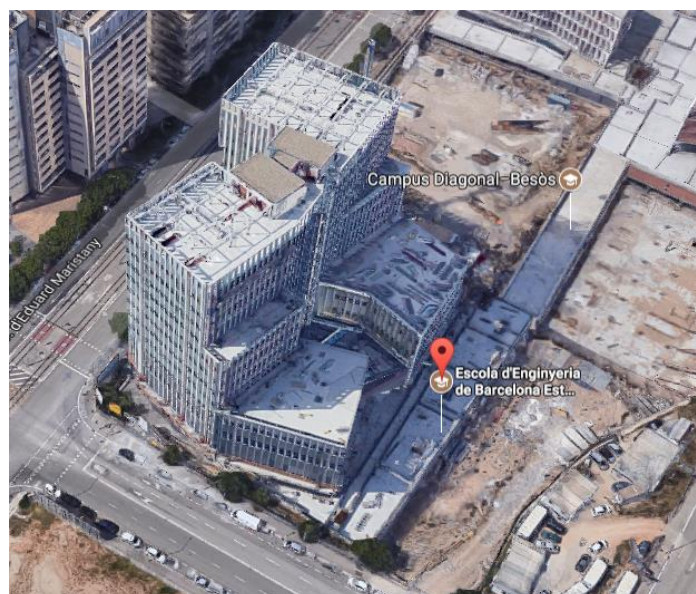
El edificio a simular es la universidad EEBE de San Adrián del Besós (Barcelona), concretamente el ala izquierda de la planta 6 del edificio A, ubicado en la Avenida Eduard Maristany 16.



**Figura 82.-** Emplazamiento del edificio EEBE  
Fuente: Google maps

Este edificio se acabó de construir fue habilitado sobre el año 2016-2017. Se trata de un lugar poco transitado, ya que se encuentra a las afueras de Barcelona, en un espacio de poco interés turístico, a pesar de que a unos pocos kilómetros se encuentran zonas emblemáticas como el Parc del Fòrum o Diagonal Mar.

La escuela se encuentra sin edificios en contacto directo con esta, sin embargo, sí que existen otros edificios de la universidad y a sus alrededores, pero estos no interfieren en el soleamiento, ya que el sol incide directamente en las fachadas sin obstáculos. El edificio se caracteriza por acristalamiento, ya que las fachadas están compuestas por un mínimo del 70% de ventanas.



**Ilustración 83.** Esquema en 3D del edificio A  
Fuente: Google Maps

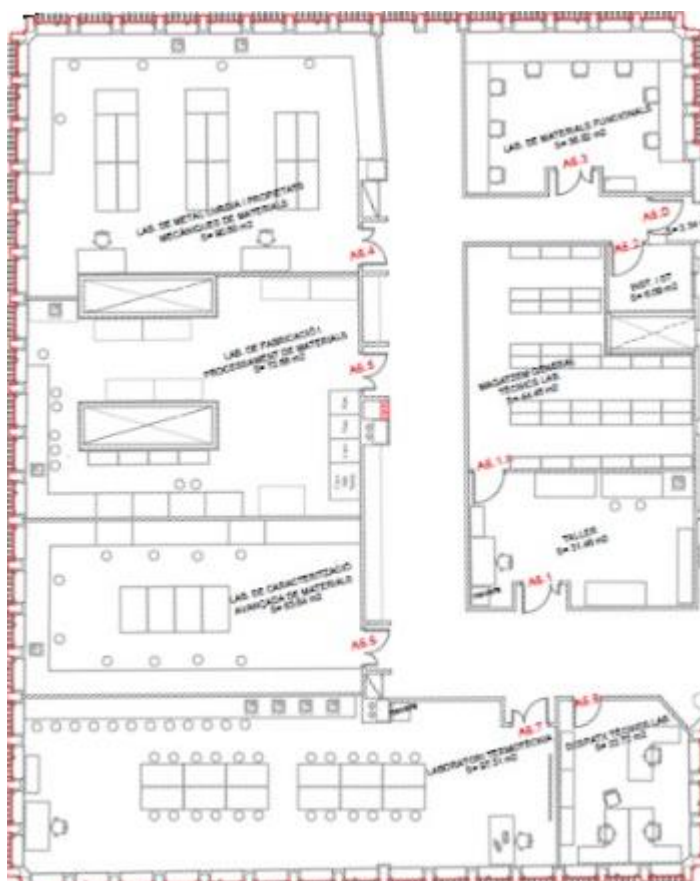


El edificio de la Escuela de Ingeniería de Barcelona Este (EEBE) está destinado principalmente a la docencia e investigación de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona (EUETIB), y una parte de la actividad docente y de investigación vinculada a los ámbitos de la ingeniería química y de materiales de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona (ETSEIB).

### 7.3. Descripción geométrica

Para realizar el estudio y la simulación se escoge la planta 6 del edificio A. En el apartado anterior se ha mencionado que el edificio A de la Escuela de Ingeniería de Barcelona Este (EEBE) está destinado a la docencia y a la investigación. El edificio A tiene un total de 10 plantas operables.

En el ala izquierda de la planta 6 se encuentran principalmente laboratorios de materiales y termodinámica. Otras aulas contiguas están destinadas para los técnicos de laboratorios, con su respectivo taller y almacén. El pasillo interior conecta con los laboratorios y las demás estancias.



**Figura 84.** Mapa del ala izquierda de la planta 6 del edificio A

En la figura anterior se detalla un plano obtenido por el mismo centro donde se predisponen las diferentes estancias. Se observa que en la parte lateral izquierda están ubicados los laboratorios mientras que en la parte lateral derecha está destinada a almacén y taller. En la Tabla 1 se



resumen las distintas estancias, así como el nombre que le corresponde a cada una y la superficie en m<sup>2</sup>. En total hay 5 laboratorios, un despacho, un taller, un almacén y el pasillo que los conecta.

Espacio	Aula	Superficie (m <sup>2</sup> )
Laboratorio termotecnia	A6.7	97,31
Laboratorio de caracterización avanzada de los materiales	A6.6	63,64
Laboratorio de fabricación y procesamiento de materiales	A6.5	72,56
Laboratorio de metalurgia y propiedades mecánicas de los materiales	A6.4	90,50
Laboratorio de materiales funcionales	A6.3	36,82
Despacho técnicos de laboratorio	A6.8	22,72
Taller	A6.1	31,46
Almacén técnicos laboratorio	A6.1.a	53,41
Pasillo	-	96

**Tabla 1.** Espacios y superficies del ala izquierda de la planta 6

## 7.4. Descripción constructiva

La envolvente del edificio dispone de paredes exteriores recubiertas con paneles sándwich, y columnas incrustadas en la fachada que separan las ventanas. Encima de las ventanas se ajustan una serie de lamas de aluminio para protección solar. Los suelos y los techos son de tipo adiabáticos, ya que están en contacto con otras plantas adyacentes que no se van a simular y, técnicamente, los techos de la planta 6 son los suelos de la planta siguiente, es decir, la planta 7, por lo que los techos tienen la misma construcción que los suelos.

A continuación se explica brevemente los materiales y las distintas construcciones que forman los cerramientos del edificio.

### 7.4.1. Ventanas

Las ventanas son de doble acristalamiento. Están formadas por un vidrio de tipo float interior de 8 mm NEUTRALUX-5. Una cámara de gas argón de 10 mm separa los dos tipos de vidrio. El vidrio exterior es de tipo laminar con dos láminas de 5+5 mm transparentes MULTIPACT. La carpintería que envuelve la ventana es de aluminio serie COR60 de CORTIZO con hoja oculta, con anodizado de plata.

### 7.4.2. Paredes exteriores

Las paredes exteriores están compuestas por ladrillos de profundidad 270 mm, con un recubrimiento interior formado por dos placas de yeso laminado KNAUF de 15 mm cada una y un recubrimiento exterior de paneles tipo sándwich de un espesor de aproximadamente 52 mm, y una cámara de aire de 5 cm que separa el aislante y las placas de yeso.

### 7.4.3. Panel sándwich

El recubrimiento exterior de las paredes exteriores es el panel sándwich. Este está formado por dos chapas de aluminio separadas por un material aislante. La chapa interior es de 1 mm, mientras que la exterior es de 0,8 mm. El material aislante es de lana mineral de 50 mm PANEL PLUS KRAFF.

### 7.4.4. Suelos y techos

Como se ha mencionado anteriormente, los suelos y techos tienen la misma configuración, ya que el techo de una planta resulta ser el suelo de la planta superior, mientras que el suelo de una planta es el techo de la planta inferior, exceptuando los casos de la planta que está en contacto con el suelo y la última planta, que el techo ya es cubierta.

Por lo tanto, el suelo/techo tiene un falso techo compuesto por una placa KNAUF de 13 mm y una cámara de aire de 50 mm antes de llegar al hormigón. El hormigón tiene un espesor de 370 mm, seguido por una capa de mortero de 29,9 mm, y en la capa más externa existe un pavimento de terrazo bicapa con fondo negro de MOSAICS PLANAS, de 40 mm.

### 7.4.5. Columnas

Las ventanas están separadas por columnas hechas principalmente de hormigón de 503,3 mm, recubierto con aislante de 30 mm, y con una capa hacia la cara interna del edificio que envuelve el aislante formado por dos placas KNAUF de 15 mm cada una.

### 7.4.6. Lamas

Cada ventana de la envolvente dispone de una serie de lamas a modo de protección solar. En cada ventana hay un grupo de 6 lamas, desde un lado de la ventana hasta el lado opuesto, con una longitud que cubre toda la fachada, de una profundidad aproximada de 18 cm. Estas lamas están fabricadas con aluminio, y en la aplicación Openstudio se definirán como objetos de sombra.

En la Figura 85 se muestra la imagen del edificio EEBE en fase de construcción. Se aprecian algunos materiales que componen el edificio y su estructura. En la imagen no aparecen aún las ventanas pero sí se proyectan sus huecos en la fachada, dispuestas entre columnas de hormigón, que también dividen la pared exterior de ladrillo.



**Figura 85.** Edificio EEBE en proceso de construcción  
Fuente: Imágenes de google

## 7.5. Descripción de horarios

En el edificio a estudiar se cuenta con varios tipos de horario. Los horarios de este edificio terciario son del tipo ocupacional, es decir, el horario de entrada y salida de personas a las estancias de la planta (Laboratorios, despachos...). También se cuenta con horario de iluminación y equipos que, normalmente suelen tener el mismo margen temporal que los horarios ocupacionales. Otros horarios que se definirán son del tipo actividad metabólica y por último los horarios de termostato de calefacción y refrigeración que marcarán sus temperaturas de diseño.

En los siguientes apartados se definen estos tipos de horario que caracterizan el ala izquierda de la planta 6 a estudiar.

### 7.5.1. Ocupación

La planta 6, como ya se ha visto, cuenta mayoritariamente con salas de laboratorios, un despacho, taller y almacén. Es necesario establecer un horario para introducir en el apartado **Schedules** de Openstudio, por lo que el horario de cada estancia se establecerá durante las horas que se indica en la Tabla 2.

Espacio	Schedule type	Horario semanal
Laboratorio termotecnia	Laboratorio	8:00/14:00- 15:00/21:00
Laboratorio de caracterización avanzada de los materiales	Laboratorio	8:00/14:00- 15:00/21:00
Laboratorio de fabricación y procesamiento de materiales	Laboratorio	8:00/14:00- 15:00/21:00
Laboratorio de metalurgia y propiedades mecánicas de los materiales	Laboratorio	8:00/14:00- 15:00/21:00
Laboratorio de materiales funcionales	Laboratorio	8:00/14:00- 15:00/21:00
Despacho técnicos de laboratorio	Despacho	8:00/13:00- 15:30/18:00
Taller	Taller	10:00/12:00
Almacén técnicos laboratorio	Siempre 0	-
Pasillo	Pasillo	8:00-21:00

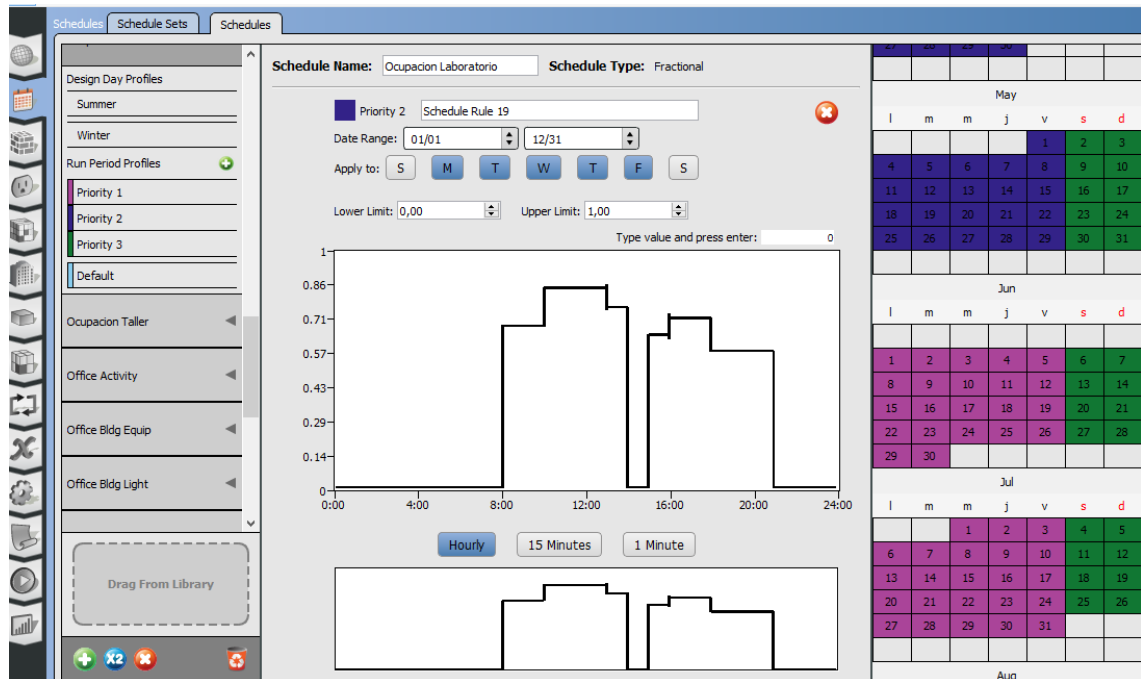
**Tabla 2.** Definición de límites horarios por estancia, tipo de horario e intervalos límite.

En el apartado de *Schedules*, del manual, se habló de la necesidad de crear horarios para personas, iluminación, equipos o termostatos. En esta tabla se ha resumido brevemente los límites generales horarios de funcionamiento, y durante esos intervalos de tiempo habrá situaciones de ocupación, ligado con el funcionamiento de iluminación y de equipos eléctricos.

En la tabla se indica que en el caso de laboratorios el intervalo horario es más amplio que en los demás casos, esto se debe a que hay diferentes grupos durante el día que están en las clases durante el horario escolar. El horario escolar está comprendido desde las 8:00 hasta las 21:00 sin incluir el período entre las 14:00 y las 15:00. Los laboratorios, en la universidad EEBE, cambian de horario cada cuatrimestre del año, por lo que no se puede establecer un horario definitivo, constante e irrefutable para este caso, pero se puede generar un horario general que no difiera mucho de la realidad y que pueda abarcar todos los casos de laboratorio, de forma que se creará en Openstudio un horario semanal generalizado llamado “Laboratorio” que se asignará a cada estancia de laboratorio de la planta. Hay que tener en cuenta que la universidad en el fin de semana se considera cerrada, por lo que el horario en fin de semana será nulo para todos los casos.

En la Figura 86 se muestra el horario del Laboratorio en Openstudio Application. Se ha creado desde cero, donde se han necesitado 3 tipos de “Priorities”, es decir, intervalos de tiempo en el que se mantiene un horario constante. Los tres tipos de horario que se ha usado, para todos los

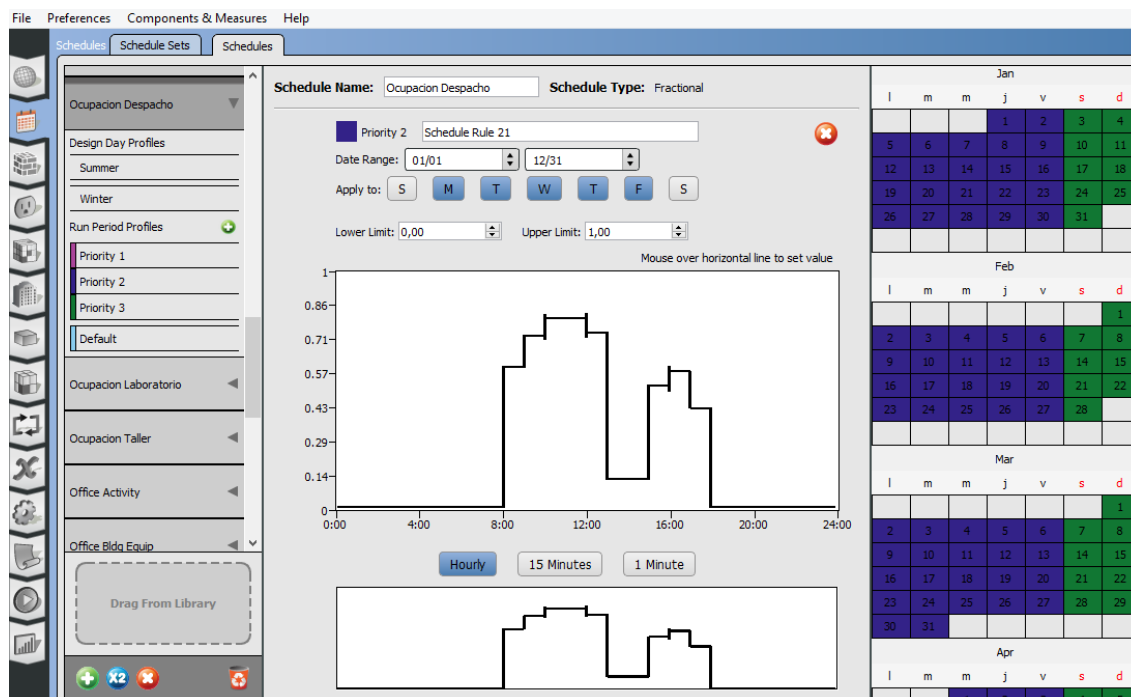
casos, es el laboral (ente semana), festivo de fin de semana y festivo por verano. En el caso de fin de semana y verano se considera que no hay ocupación. El horario entre semana se proyecta de color azul, el de fin de semana es de color verde y el de verano es lila. Todos los tipos de horario ya tienen en cuenta estos tres tipos de horarios. En la franja situada entre las 14:00h-15:00h se observa un horario nulo, que indica que no hay ocupación en ese espacio debido al horario de comida en la universidad. La ocupación es variable en el tiempo desde las 8:00h hasta las 21:00h.



**Figura 86.** Creación del horario del laboratorio

Por otro lado, está el despacho de los técnicos de laboratorio. Los técnicos de laboratorio tampoco tienen un horario fijado, porque pueden dedicar tiempo a estar en el despacho como resolviendo problemas en otras estancias de la universidad. Pueden tener demanda en cualquier momento, por lo que el despacho tendrá un horario aproximado, establecido entre las 8:00 y las 18:00. En la Figura 87 se observa la gráfica fraccional del horario en el despacho, y se visualiza que hay los tres tipos de horario, en el caso del horario entre semana, la ocupación máxima está en las horas de la mañana. En fin de semana y verano se considera una ocupación nula.

En el caso del taller de los técnicos de laboratorio, me he podido informar que se usa un máximo de 2 horas al día, es decir, no suele estar ocupado, por lo que se define un horario comprendido entre las 10:00 y las 12:00 de la mañana, considerando fin de semana y verano de ocupación nula.



**Figura 87.** Definición de horario anual del Despacho

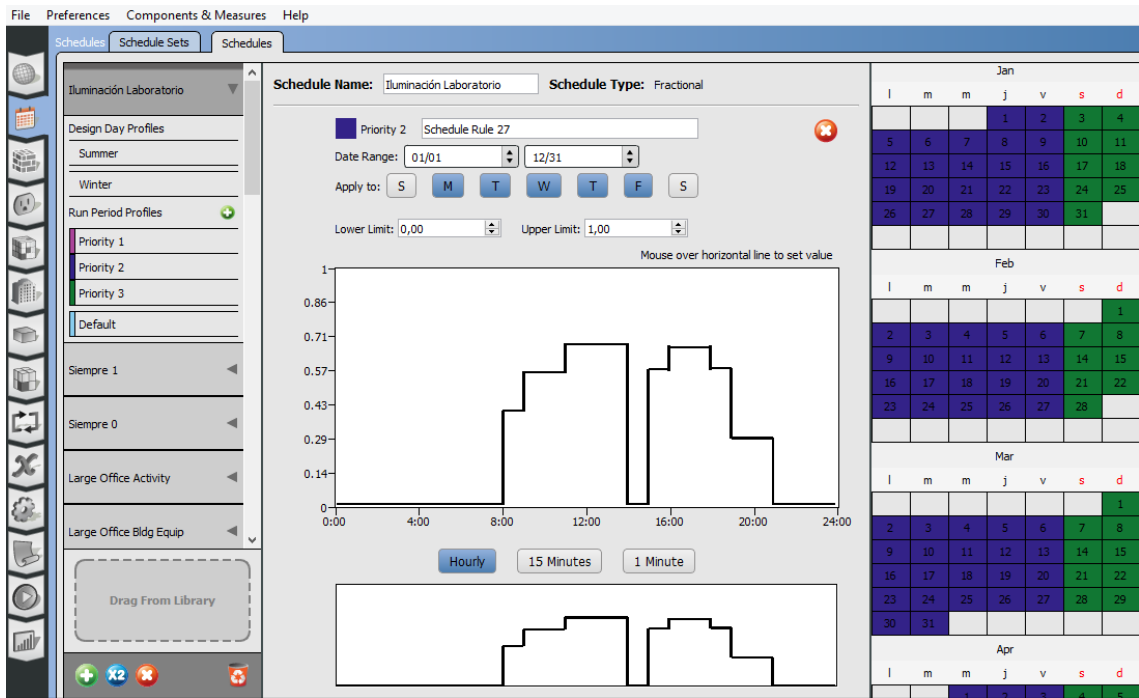
Para el caso del almacén, los técnicos de laboratorio me han podido confirmar que suele estar en desuso. Puede que pasen alguna vez a la semana pero se puede considerar un espacio deshabitado, por lo que se creará un horario *Siempre 0*, que significará que el tipo de horario siempre permanecerá en nivel nulo. De manera paralela se creará un horario que sea *Siempre 1*, que servirá para casos donde el horario tenga que estar constantemente en el nivel máximo.

Por último, en el espacio común del pasillo, se establece un horario que abarca toda la jornada, desde las 8:00h hasta las 21:00h, ya que es una zona común a todas las estancias, por lo que habrá ocupación variable en el tiempo, de duraciones en intervalos cortos y de escasa ocupación.

### 7.5.2. Iluminación y equipos

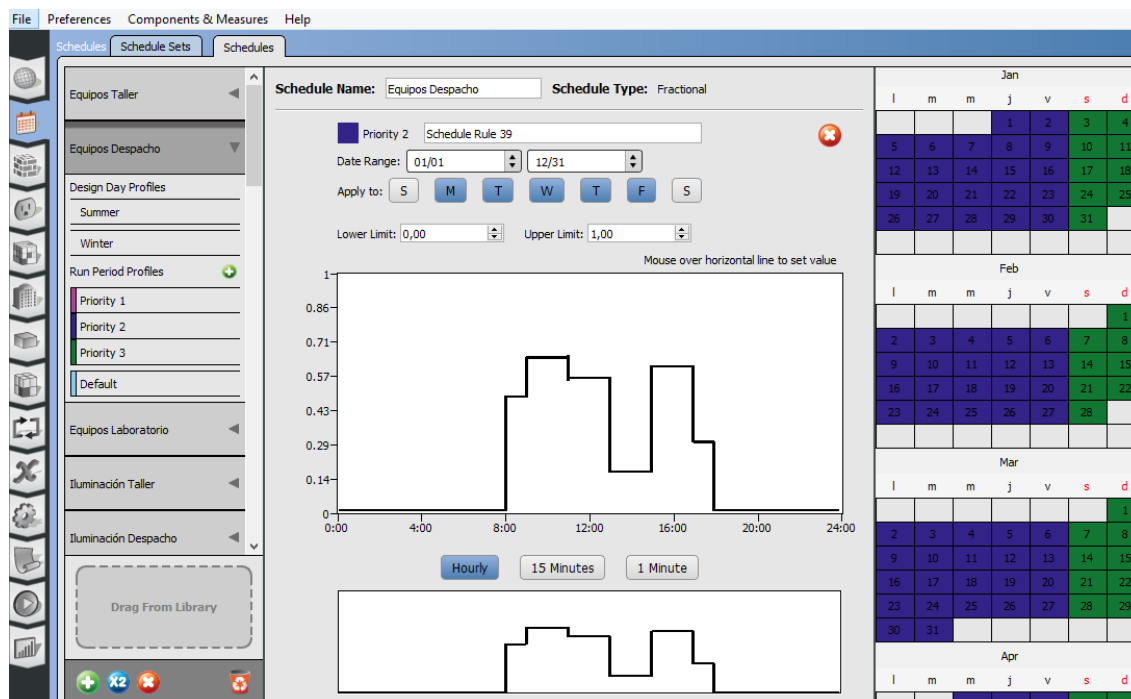
En el momento que se define una ocupación temporal, como para el caso de esta universidad en la Tabla 2, conlleva el funcionamiento de aparatos de iluminación, o a veces equipos eléctricos. Por lo que los límites horarios que se imponga en cada caso, equipará el mismo límite temporal para la iluminación o equipos, la diferencia reside en el tipo de horario, ya que cada horario tendrá su gráfica representativa determinada.

En la Figura 88 se presenta la gráfica de la iluminación que se dispone en el tipo de espacio Laboratorio. Se observa que el horario comienza y acaba en los mismos momentos que la ocupación en el laboratorio, mientras que en el intervalo entre las 14:00-15:00 no hay ningún tipo de iluminación porque es la hora de la comida, por lo que no hay clases de laboratorio.



**Figura 88.-** Definición del horario de iluminación del laboratorio

El horario de los equipos será parecido al horario de iluminación. El horario empezará y terminará en el mismo momento que en el caso de la ocupación e iluminación para ese espacio. El diseño del horario del uso de los equipos es similar al horario de la iluminación en cada caso. El gráfico horario del uso de los equipos en el despacho se muestra en la Figura 89, donde se genera un horario para el caso laboral, fin de semana y verano. En el caso de fin de semana y verano se considera un horario nulo. Se observa que los equipos se utilizan más por la mañana, sufriendo variaciones desde las 8:00 hasta las 18:00 aproximadamente. Se realizarán horarios de iluminación y equipos para cada tipo de espacio.



**Figura 89.** Definición del horario de equipos del despacho

En el caso de la iluminación en el pasillo, este horario se mantendrá constante y al nivel máximo desde las 8:00 hasta las 21:00, ya que las luces permanecen encendidas todo el día. Como el pasillo no dispone de equipos, el horario que se insertará en el apartado de horario de equipos en el pasillo será *Siempre 0*, que significa ausencia de los mismos, o inutilidad, en para otros casos. El almacén, por el contrario, al ser un espacio no habitable, o de nula ocupación, no se considerará el consumo de luces, ya que, si alguna vez se encienden, es durante cuestión de pocos minutos. El almacén tampoco dispone de equipos, por lo que se le asignará el horario *Siempre 0*.

### 7.5.3. Actividad

Es necesario designar el horario de la actividad metabólica de las personas, para poder definir la ganancia de calor interna que se transmite a partir de estas. La tasa metabólica es una conversión de la energía química en energía mecánica y térmica y proporciona un índice numérico de la actividad. Normalmente, donde más consecuencias se perciben por la actividad metabólica es durante el período de verano, ya que la evaporación del sudor incrementa los niveles de calor en la estancia, perjudicando el bienestar térmico.

EnergyPlus define que los valores para el nivel de actividad pueden variar desde aproximadamente 100-150 vatios por persona para la mayoría de las actividades de oficina hasta más de 900 vatios por persona para actividades físicas extenuantes como la lucha competitiva. En este caso usaremos valores a modo de referencia de la Tabla 3, de carácter más genérico, y de la Tabla 4, en función del local. Estos valores servirán a modo de orientación para la definición de las tasas metabólicas de las estancias.



La Tabla 3 y Tabla 4 tienen estimaciones de tasa metabólica referidas a un individuo medio:

- Hombre de 30 años, 70 kg de masa y 1,75 m de altura (área superficie cuerpo = 1,8 m<sup>2</sup>).
- Mujer de 30 años, 60 kg de masa y 1,70 m de altura (área superficie cuerpo = 1,6 m<sup>2</sup>).

	Tasa metabólica	
	W/m <sup>2</sup>	met
Recostado	46	0,8
Sentado, relajado	58	1
Actividad sedentaria (oficina, vivienda, colegio, laboratorio)	70	1,2
De pie, actividad ligera (compras, laboratorio)	93	1,6
De pie, actividad media(dependiente, trabajo doméstico)	116	2

**Tabla 3.** Tasa metabólica en función de la actividad

Fuente: IDAE Guía técnica instalaciones de climatización con equipos autónomo, UNE EN CR 1752

	Tasa metabólica	
	W/m <sup>2</sup>	met
Sala de espera	58	1,0
Oficina	70	1,2
Sala de conferencias, auditorio	70	1,2
Cafetería, restaurante	70	1,2
Aula	70	1,2
Guardería	82	1,4
Comercio(clientes sentados)	82	1,4
Comercio (clientes de pie)	93	1,6
Grandes almacenes	93	1,6

**Tabla 4.** Tasa metabólica para distintos locales típicos.

Fuente: IDAE Guía técnica instalaciones de climatización con equipos autónomos. UNE-EN CR 1752

Entonces, para describir el horario de las actividades metabólicas se usará el tipo de horario **ActivityLevel**, donde se marcará un intervalo máximo y constante de W/persona, en función del tipo de espacio y mediante las tablas anteriores. Estos horarios de actividades metabólicas serán constantes en el tiempo debido a que define un valor de W/persona que, teóricamente, no varía

en el tiempo, y, al combinarse con el horario de “Ocupación”, queda definido la ganancia interna de calor por persona en función del horario de ocupación en cada estancia.

Finalmente, los laboratorios tendrán una tasa de  $160 \text{ W/m}^2$ , el despacho de  $125 \text{ W/m}^2$ , el taller de  $150 \text{ W/m}^2$ , y el pasillo de  $165 \text{ W/m}^2$ , ya que se está en movimiento constante de un espacio a otro.

Entonces, estos horarios de actividad se definen uno a uno por cada espacio, de forma que se genera una gráfica uniforme en el tiempo, como se observa en la Figura 90, donde el límite es el valor de los  $150 \text{ W/persona}$  definidos anteriormente. La prioridad será la que sale por defecto, de color azul, durante cada día del año. La gráfica, como se observa, es constante a lo largo del año.

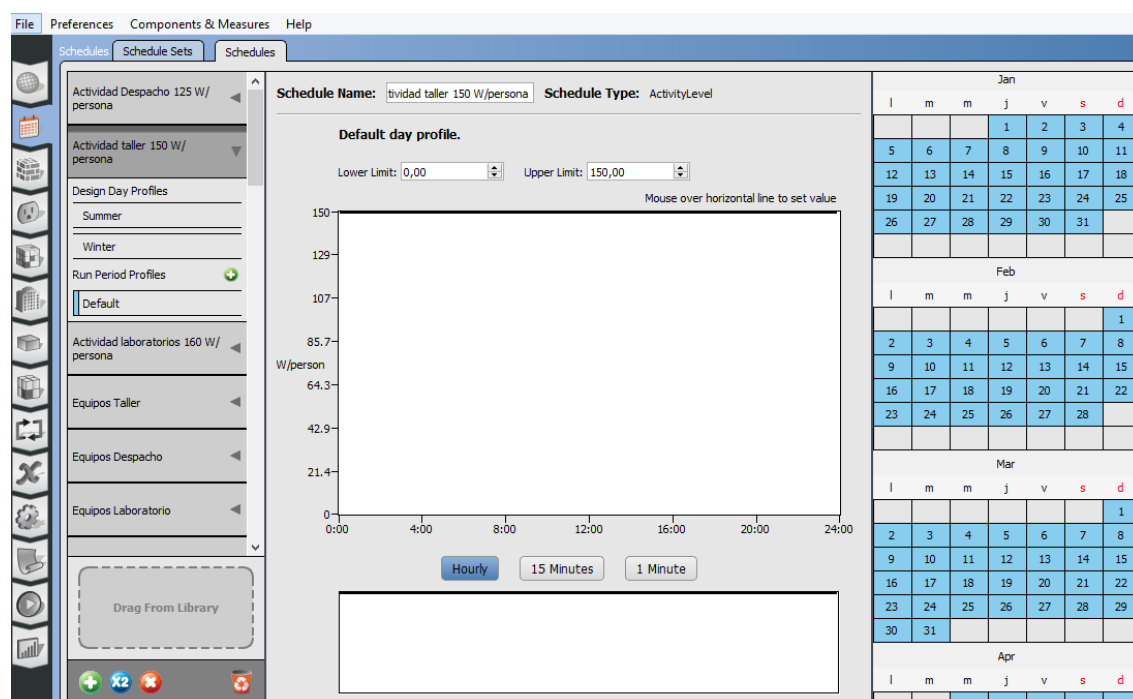


Figura 90. Definición del horario de actividad del taller en W/persona

#### 7.5.4. Termostato

La temperatura límite del termostato servirá para definir qué temperatura máxima se desea en verano y en invierno. En el Real Decreto Real Decreto 1826/2009, por el que se modifica el Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios, se establece que:

- a) La temperatura del aire en los recintos calefactados no será superior a  $21^{\circ}\text{C}$ , cuando para ello se requiera consumo de energía convencional para la generación de calor por parte del sistema de calefacción.
- b) La temperatura del aire en los recintos refrigerados no será inferior a  $26^{\circ}\text{C}$ , cuando para ello se requiera consumo de energía convencional para la generación de frío por parte del sistema de refrigeración.

La normativa sirve de orientación, y en cada caso se puede escoger el valor límite del termostato en función de la conciencia ambiental de cada usuario, como del bienestar o el confort que quiera obtener. En la siguiente tabla se anuncian los valores aproximados de temperaturas en las estancias de la planta, teniendo en cuenta que pueden ser perfectamente modificables.

Espacio	Termostato (°C)	
	Heating	Cooling
Laboratorio termotecnia	21	25
Laboratorio de caracterización avanzada de los materiales	21	25
Laboratorio de fabricación y procesamiento de materiales	21	25
Laboratorio de metalurgia y propiedades mecánicas de los materiales	21	25
Laboratorio de materiales funcionales	21	25
Despacho técnicos de laboratorio	21	25
Taller	20	26
Almacén técnicos laboratorio	20	26
Pasillo	20	26

**Tabla 5.** Valores de temperatura calorífica y frigorífica del termostato

Los valores de temperatura en verano e invierno pueden variar entre algunas estancias porque en algunos casos, como el almacén o taller, no se considera de vital importancia el confort térmico, ya que son zonas poco frecuentadas, o el pasillo, que es un espacio irregular y alargado.

En la Figura 91 se observa la forma de la gráfica para el caso del termostato de refrigeración a 25°C. La temperatura se mantendrá constante por defecto durante toda la semana laboral, en las horas comprendidas de 8:00 a 21:00, mientras que en los días festivos, fin de semana y verano (Julio y Agosto), podrá ser desactivada, ya que no hay ocupación durante ese período. Para los casos de calefacción, se considerará la temperatura de consigna durante las 8:00 y 21:00 ya que es el horario laboral, durante todo el año escolar comprendido entre Septiembre y Junio, mientras que en fin de semana no habrá calefacción.

Se realizarán desde cero los horarios para todos los casos de temperaturas de calefacción y refrigeración de la Tabla 5.

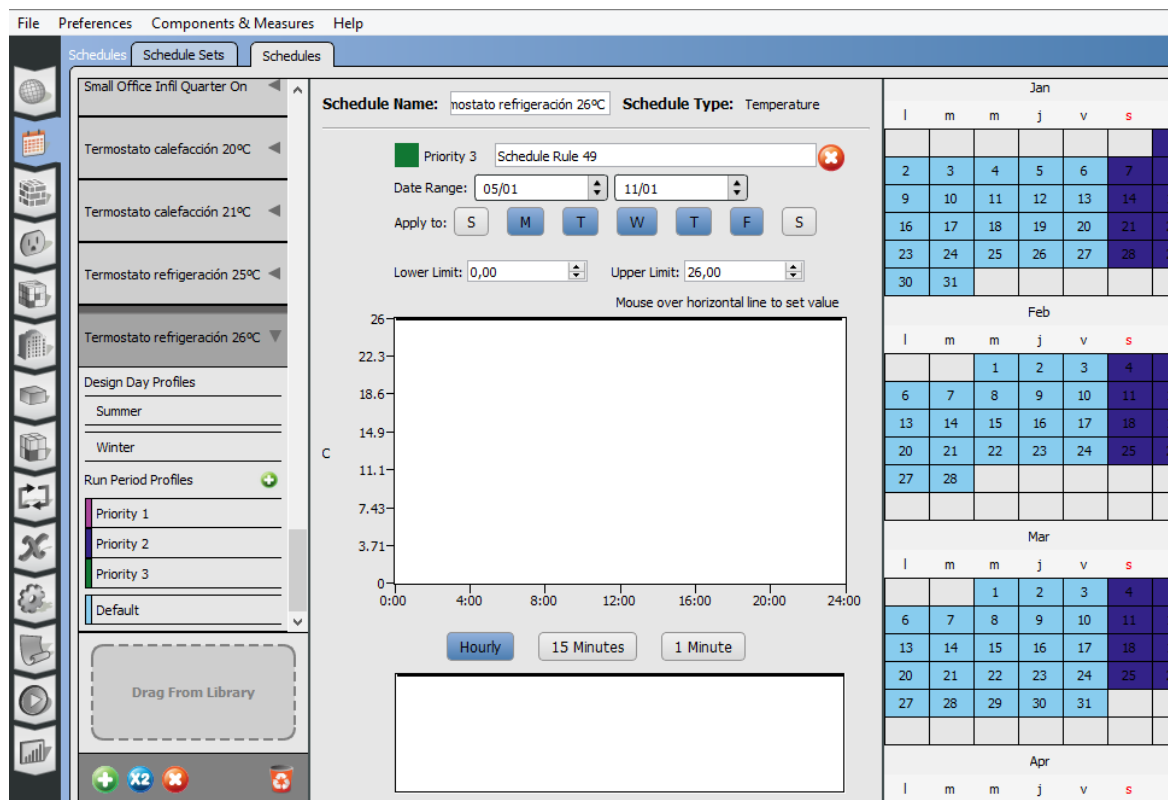
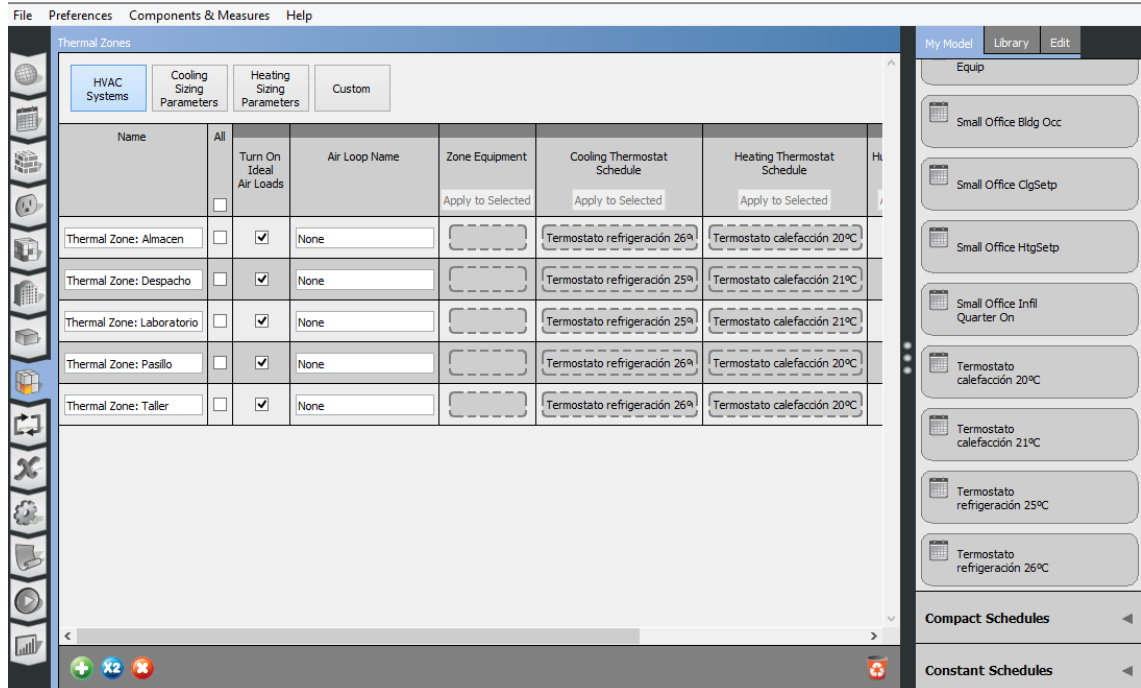


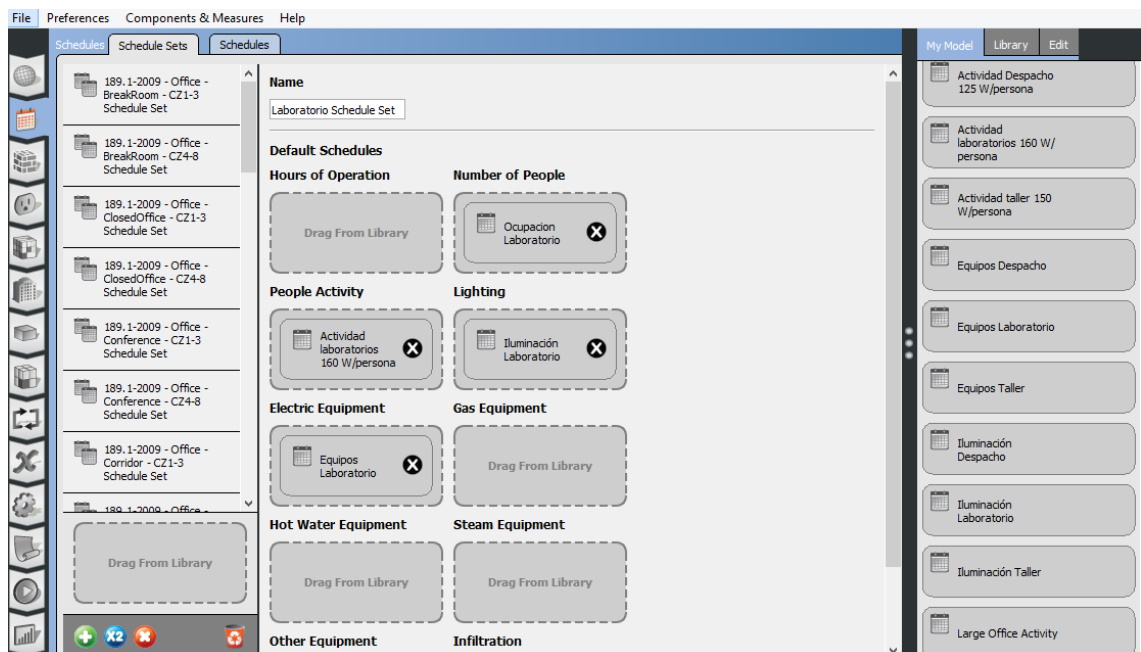
Figura 91.- Definición del horario del termostato de refrigeración, en °C.

En la siguiente figura se visualizan las temperaturas de consigna de los termostatos en calefacción y en refrigeración para los espacios definidos en la Tabla 5, donde se sugiere una carga de aire ideal. El objeto de entrada **Ideal Loads Air System** proporciona un modelo para un sistema HVAC ideal. Ocupa un lugar en la jerarquía de programas correspondiente a una unidad de HVAC de zona. No está conectado a un sistema de aire central; en cambio, cada suministra aire de refrigeración o de calefacción a una zona en cantidad suficiente para cumplir con la carga de zona o hasta sus límites impuestos por los termostatos. Para ello, se clicará la casilla **Turn On Ideal Air Loads**.



**Ilustración 92.** Definición de los termostatos en la pestaña Thermal Zones

En la Figura 93 se puede comprobar la combinación de horarios que definen el laboratorio. Los nombres que se han utilizado para insertar en las casillas contienen nombres para poder identificarlos rápidamente con su correspondiente destino, como Ocupación Laboratorio, Iluminación Laboratorio, Actividad Laboratorio...



**Figura 93.** Creación de un nuevo Schedule Set para el tipo de espacio Laboratorio

## 7.6. Descripción de cargas internas

El edificio a estudiar contiene una serie de cargas internas que variarán la temperatura y la salubridad del mismo, como son las debidas a las personas que ocupan las estancias o el uso de la iluminación y los equipos, todas ellas definidas dentro de sus respectivos horarios. Las cargas internas del edificio se detallan en los siguientes apartados.

### 7.6.1. People definition

El número de personas puede variar en función de la estancia. Normalmente, cuanto más grande es la estancia más posibilidades de que esté más habitada. Se supondrá una ocupación para el caso general de laboratorio, taller y almacén. En este caso la ocupación no se ha calculado con el documento CTE DB SI, ya que no se refiere a la ocupación máxima debida a criterios de seguridad. Para este cálculo de ocupación se utiliza la siguiente tabla orientativa y que aparece en UNE-EN 13779:2004 y UNE-EN 13779:2008, tablas 22 y 12.

Tipo de uso	m <sup>2</sup> /ocupante
Oficinas paisaje	12
Oficinas pequeñas	10
Salas de reuniones	3
Centros comerciales	4
Aulas	2,5
Salas de hospital	10
Habitaciones de hotel	10
Restaurantes	1,5

**Tabla 6.** Superficie de suelo por ocupante en m<sup>2</sup>/ocupante. Tabla 22 de la UNE EN13779:2004 y Tabla 12 de la UNE EN13779:2008. Fuente: IDAE Guía técnica instalaciones de climatización con equipos autónomos

Si se desconoce el número de personas que puede haber en cada estancia, esta tabla puede servir de forma orientativa. No obstante, sirve como modo de referencia para la introducción de datos. No obstante, en la siguiente tabla se resume el número de personas por estancia y correlativamente el número de personas por superficie. Se ha de tener en cuenta que el espacio tipo “Laboratorio” hace referencia a los diferentes espacios de laboratorios.

Estancia	personas	m <sup>2</sup> /persona
Laboratorio	8-10	6
Taller	2	12
Despacho	2	10
Pasillo	Variable	50

**Tabla 7.** Valor real de m<sup>3</sup>/persona por tipo de espacio

En la Tabla 7 aparecen de forma resumida los valores de superficie por persona en cada espacio. Se observa que en el caso del pasillo se obtiene la mayor cantidad de espacio por persona, debido a que tiene una superficie bastante alargada y transitan pocas personas en ella, y la cantidad de personas y el horario de ocupación son variables. Por otro lado, los siguientes espacios con más posibilidad de superficie por persona son el taller y el despacho, porque se posee un gran margen superficial y como máximo suelen haber dos personas en ellos. En cambio, el laboratorio suele tener bastante ocupación, que contrarresta el tamaño de las aulas.

La sucesión de horarios de ocupación de personas, número de personas y actividad metabólica definen el modelo energético referido a las personas, es decir, indica cuantas personas están en cada estancia durante un período de tiempo y la energía calorífica que aportan.

$$valor_{definición} \cdot schedule_{actividad} \cdot schedule_{ocupación} \quad (Eq. 1)$$

En la Figura 94 se muestra la introducción de la definición de personas, en m<sup>2</sup>/persona, en el caso del Laboratorio. Se calcula de forma automática la fracción del calor sensible, y se toma un ratio de generación de dióxido de carbono del 0,000038 L/s·W, que aparece por defecto. Se toma un valor de fracción radiante aproximado de 0,3.

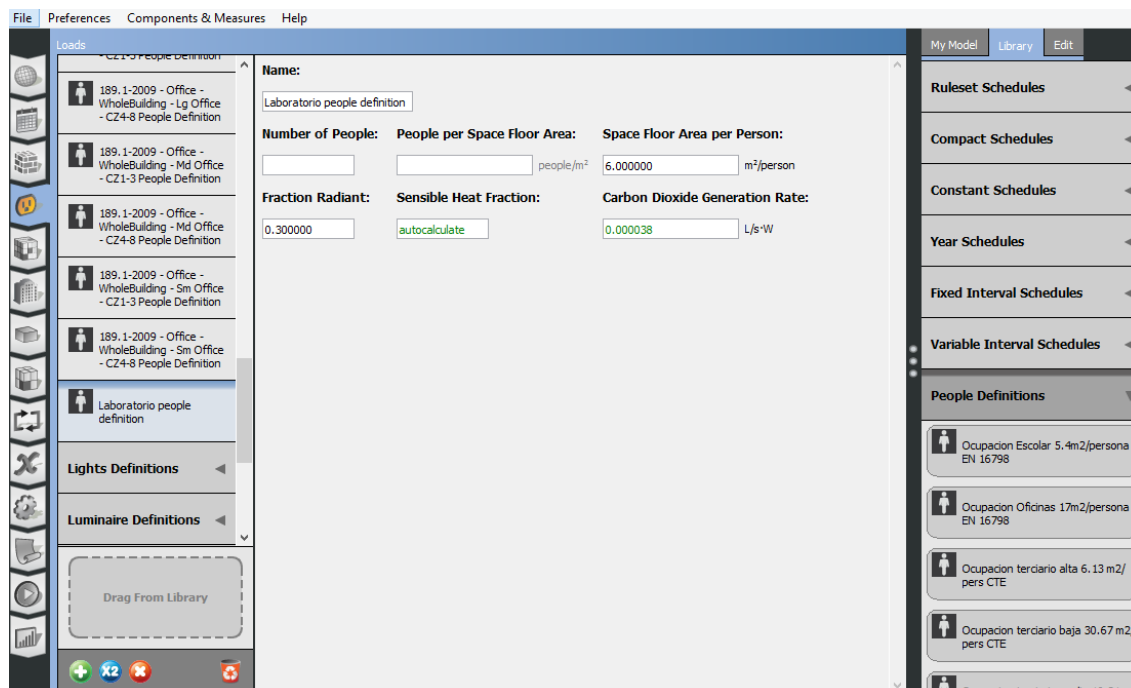


Figura 94. Definición de personas en el laboratorio

### 7.6.2. Lights and equps definition

En este apartado se mide la potencia de los equipos eléctricos y la iluminación de las estancias. La parte a estudiar de la planta 6 dispone de los mismos equipos de iluminación en las estancias, barras led de 72 W. Las luces se distribuyen de forma proporcional a la superficie del suelo, es decir, el número de luces en una superficie pequeña será proporcional al número de luces por una superficie mayor, como se ve en la Tabla 8. Cuanto más superficie tiene el espacio, más luces contiene, por lo dispondrá de una mayor potencia en la sala. En cuanto a equipamiento eléctrico, claramente hay más cantidad en los espacios de laboratorio, donde se pueden encontrar elementos de elevado consumo es elevada, no se usan todos los elementos, como tampoco se suelen usar de forma simultánea, por lo que el consumo es mucho menor al máximo. En los laboratorios, lo que sucede es que cuanto mayor superficie hay disponible, mayor número de elementos de consumo, aunque la mayoría estén en desuso.



Espacio	Iluminación		Equipos eléctricos	
	Nº	Potencia (kW)	Equipos	Potencia (kW)
Laboratorio termotecnia	10	0,72	Hornos 7600W 6 PC 1 nevera Hervidor agua 4000W	11,9
Laboratorio de caracterización avanzada de los materiales	6	0,43	Hornos 3800 W Otros 360 W	4,16
Laboratorio de fabricación y procesamiento de materiales	7	0,511	Hornos 9000W Microscopios 360 W	9,36
Laboratorio de metalurgia y propiedades mecánicas de los materiales	9	0,648	Hornos 3800 W 2 PC Otros 600 W	4,5
Laboratorio de materiales funcionales	4	0,288	Otros 240 W	0,24
Despacho técnicos de laboratorio	2	0,144	3 PC	0,45
Taller	4	0,288	1 nevera Otros	0,35
Almacén técnicos laboratorio	-	-	-	-
Pasillo	6	0,432	-	-

**Tabla 8.** Valores aproximados de iluminación por estancias

Entonces, se definen un valor de  $W/m^2$  de iluminación y equipos para los tipos de espacio laboratorio, taller y despacho. Esos valores se multiplican por sus respectivas fracciones horarias para obtener el aporte de energético en un determinado intervalo de tiempo.

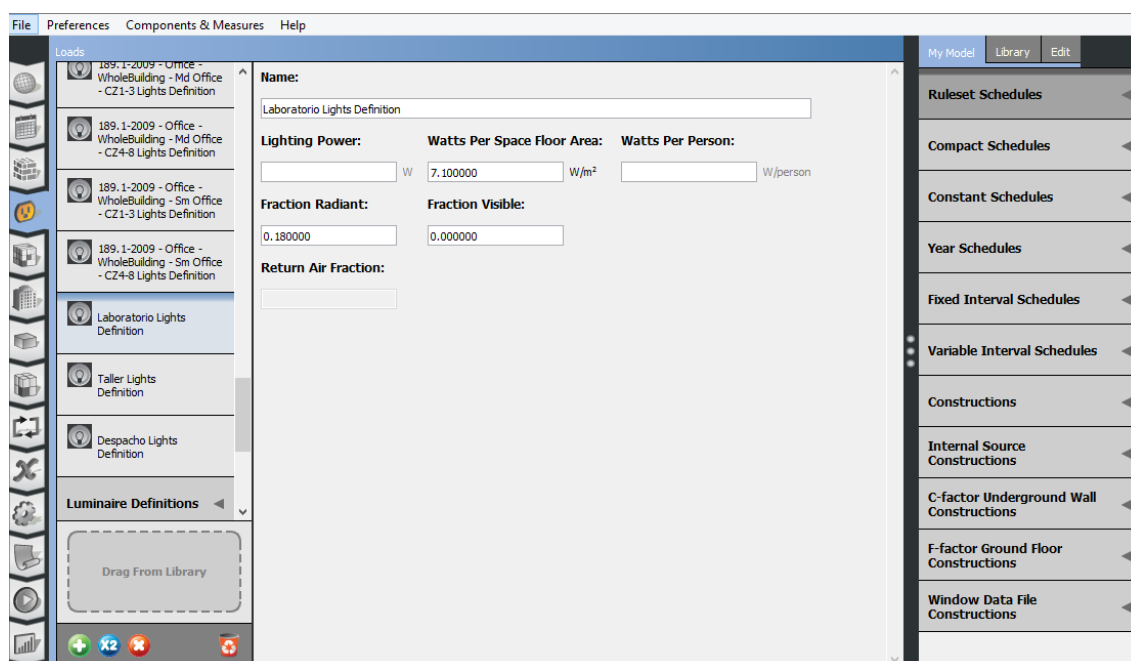
$$valor_{definición} \cdot schedule_{funcionamiento} \quad (Eq. 2)$$

$W/m^2$	Iluminación
Laboratorio	7,1
Taller	9
Despacho	6,3
Pasillo	4,5

**Tabla 9.** Resumen de los valores de iluminación por tipos de espacio

Como se observa en la Tabla 9. Resumen de los valores de iluminación por tipos de espacio, la máxima carga de iluminación reside en el espacio de taller, ya que aumenta la carga por superficie, seguido por los espacios de laboratorio, donde hay una gran cantidad de luces, continuado por el despacho de los técnicos, y por último el pasillo. El pasillo, como se ha mencionado anteriormente, carece de equipos eléctricos. En el caso de consumo de equipos, los laboratorios tienen el nivel más elevado, debido a que albergan equipos de alto consumo como son hornos.

Se crearán las definiciones de iluminación y equipos, en  $W/m^2$  y  $W$ , respectivamente, de cada tipo de espacio, contando con una fracción radiante del 0,18. En la Figura 95 se muestra la introducción de datos de la definición de luces para el tipo de espacio Laboratorio, mientras que en la Figura 96 se introducen las cargas por equipos eléctricos.



**Figura 95.** Definición de luces para el tipo de espacio Laboratorio

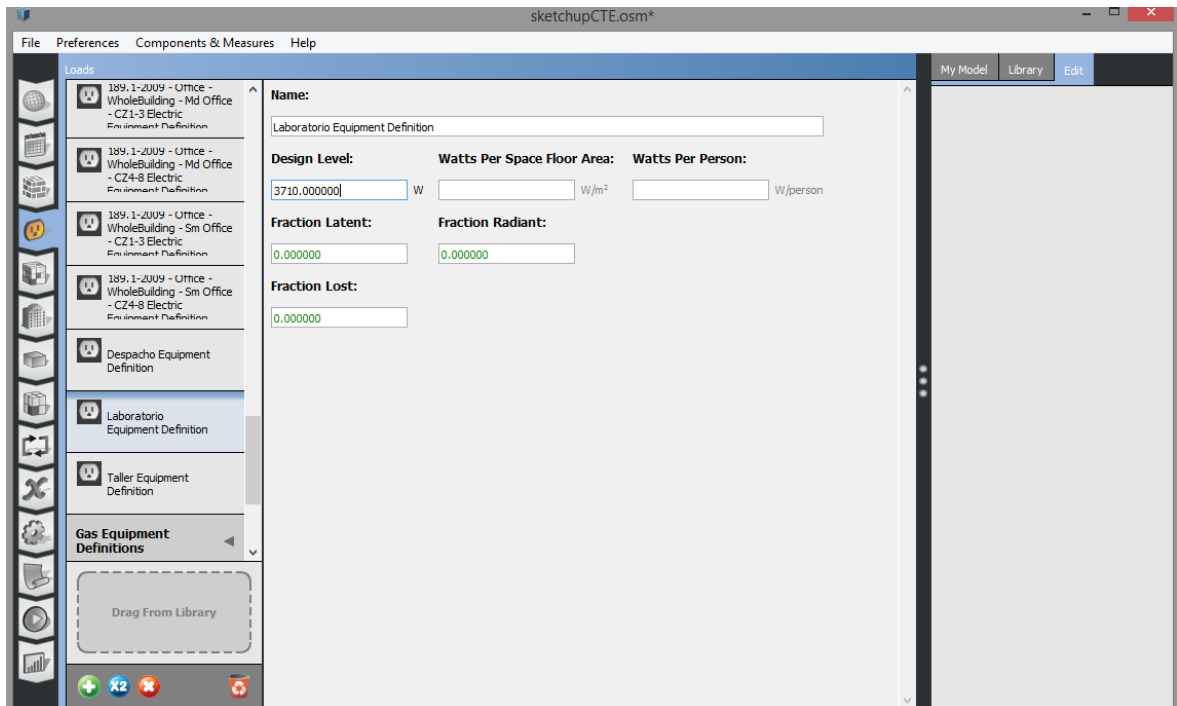


Figura 96.- Definición de equipos eléctricos para el tipo de espacio Laboratorio

### 7.6.3. Infiltración

El parámetro de infiltración (Tasas de Flujo de diseño de infiltración) puede reflejar desde las infiltraciones de aire por déficit de estanqueidad de los cierres como, en un régimen más alto, las ventilaciones. La calidad térmica del ambiente así como la calidad del aire interior son exigencias que regula la normativa de Reglamentación de Instalaciones Térmicas RITE. La primera exigencia de la normativa se refiere al bienestar térmico en los espacios interiores, dependiendo de la actividad, grado de vestimenta, temperatura operativa y la humedad relativa. La calidad del aire se relaciona con las exigencias del reglamento respecto del sistema de ventilación del aire en los edificios, ya sea mediante sistemas de climatización o sin estos.

Existen distintas normativas de regulación de las exigencias del aire en función del tipo de uso del edificio. En otros usos diferentes del Residencial se utiliza la normativa del RITE, apartado sobre calidad del aire interior –IT 1.1.4.2.- referido a la norma UNE-EN 13779. En este caso se utilizará la normativa RITE, ya que se trata de un edificio de uso terciario, como es esta universidad. En este reglamento, se clasifica la calidad de aire interior (IDA) en función de la actividad del edificio:

- IDA 1 (aire de óptima calidad): hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
- IDA 2 (aire de buena calidad): oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.

- IDA 3 (aire de calidad media): edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (excepto piscinas) y salas de ordenadores.
- IDA 4 (aire de baja calidad): no se debe aplicar

El RITE establece 5 métodos para el cálculo del caudal de aire exterior de ventilación. De los cinco métodos, dos son métodos indirectos donde el caudal se determina por la ocupación o por la superficie de los locales. Los otros tres métodos son directos, donde el caudal de ventilación se determina a partir de la carga contaminante del edificio. En este caso se utilizará el método indirecto de caudal de aire exterior por persona, mediante los valores de la Tabla 1.4.2.1 del RITE.

- IDA 1: 20 l/persona
- IDA 2: 12,5 l/persona
- IDA 3: 8 l/persona
- IDA 4: 5 l/persona

Para calcular el número de renovaciones a la hora que se ha en los espacios es preciso realizar la ecuación simplificada:

$$\text{renovaciones/hora} = \frac{\frac{m^3}{h}}{\frac{m^3}{h}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Para saber el caudal de aire en  $m^3/h$ , se ha de saber previamente el número de personas en espacio y el volumen del mismo, mientras que el volumen en  $m^3$  se calculará en función de la superficie y la altura de cada superficie, de 2,8 m. Estos valores se resumen en la Tabla 10, en función de cada espacio.

Espacio	Superficie (m <sup>2</sup> )	Ocupación media	IDA	I/s-persona	m <sup>3</sup> /h	ren/h
Laboratorio termotecnia	97,31	10	1	20	720	2,64
Laboratorio de caracterización avanzada de los materiales	63,64	8	1	20	576	3,23
Laboratorio de fabricación y procesamiento de materiales	72,56	9	1	20	648	3,19
Laboratorio de metalurgia y propiedades mecánicas de los materiales	90,5	9	1	20	648	2,56
Laboratorio de materiales funcionales	36,82	7	1	20	504	4,89
Despacho técnicos de laboratorio	22,72	2	2	12,5	90	1,41
Taller	31,46	2	1	-	-	-
Almacén técnicos laboratorio	44,45	0	-	-	-	-
Pasillo	96	Variable	3	8	57,6	0,2

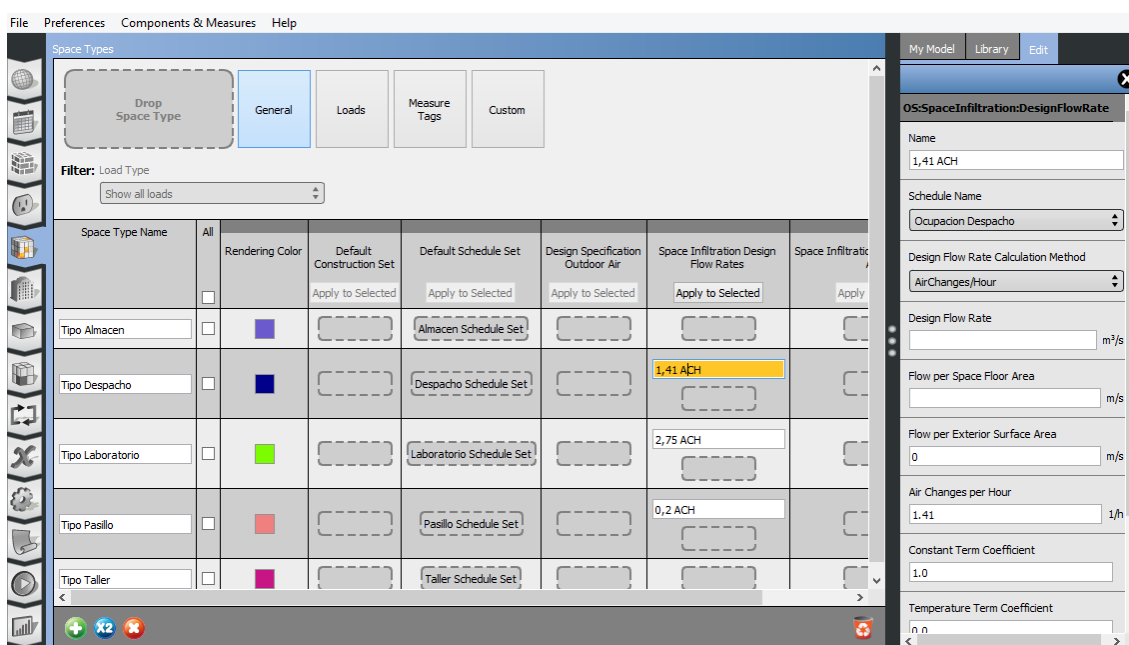
**Tabla 10.** Valores de superficie, ocupación, I/s, IDA, para el cálculo de las renovaciones de aire por hora

En la tabla se señalan los distintos espacios, pero las casillas del taller y del almacén se mantienen vacías. Eso se debe a que ni el taller ni el almacén tienen ventanas, lo que imposibilita la opción de ventilación por aire exterior, por lo que no se considera la ventilación. Para el resto de estancias, como en esta simulación se escoge el tipo de espacio Laboratorio para todos los espacios de laboratorio, la ventilación para este tipo de espacio será la media aritmética de todos los valores de renovaciones por hora. La media de los espacios de laboratorio es de 2,75 ren/h, por lo que se le aplicará este valor a la ventilación del tipo de espacio Laboratorio. Para el caso del despacho, el valor de renovaciones por hora será el mismo de la tabla, es decir, 1,41 ren/h. El pasillo tendrá una tasa mínima de 0,2 ren/h.

Estos valores se añadirán en **Space Infiltration Design Flow Rates** de la pestaña **Space Types**, entendiendo el objeto de ventilación **Design Flow Rate** como el flujo de aire intencionado desde el entorno exterior directamente a una zona térmica para proporcionar una cierta cantidad de refrigeración no mecánica. El inconveniente de la aplicación de Openstudio es que no permite la introducción manual de un nuevo elemento de aire exterior, por lo que será necesario descargar

una plantilla (por ejemplo Office), arrastrar el elemento desde la lista **Space Infiltration Design Flow Rate** y editarlo en la pestaña **Edit**. Los elementos a introducir serán:

- **Name:** El nombre del elemento, por ejemplo, Infiltración 2,75 ACH(Air changes per hour)
- **Schedule name:** En este caso se usará el horario de ocupación del espacio en cada caso.
- **Design flow rate calculation method:** Este apartado permite elegir el tipo de unidades que se usa para el elemento. Las opciones existentes pueden ser Flow/Space, Flow/Area, Flow/ExteriorArea, flow/ExteriorWallArea, AirChanges/Hour. En este caso se usan las unidades de renovaciones por hora, AirChanges/Hour(ACH)
- **Air changes per hour:** En este caso se deberán escribir los valores de renovaciones por hora en el tipo de espacio en cuestión
- **Constant term coefficient:** Se mantendrá el valor unitario



**Figura 97.** Introducción de datos de ventilación en Space Infiltration Design Flow Rates

En el momento que se conocen todas las cargas internas de los espacios a considerar, se procede a introducir los valores en la aplicación Openstudio. En la Figura 97 se observa cómo se van arrastrando los objetos creados en el modelo, mientras que en la Figura 98 se visualiza la interfaz de las cargas de la pestaña **Space types**. Se puede observar que el conjunto de las distintas columnas definen las cargas internas cada tipo de espacio, como la definición de personas, luces equipos... Todas con nombres que las relacionen al tipo de espacio al que se le asocian, para facilitar la comprensión y la correcta asignación de definiciones.

Space Types						
Space Type Name	All	Load Name	Multiplier	Definition	Schedule	Activity Schedule (People Only)
	<input type="checkbox"/>		Apply to Selected		Apply to Selected	Apply to Selected
Tipo Almacen	<input type="checkbox"/>	People almacen	1.000000	Almacen people definition	Siempre 0	Actividad Almacen 0 W/perso
Tipo Despacho	<input type="checkbox"/>	People despacho	1.000000	Despacho people definition	Ocupacion Despacho	Actividad Despacho 125 W/perso
	<input type="checkbox"/>	Lights despacho	1.000000	Despacho Lights Definition	Iluminación Despacho	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment Despacho	1.000000	Despacho Equipment Definition	Equipos Despacho	
	<input type="checkbox"/>	1,41 ACH			Ocupacion Despacho	
Tipo Laboratorio	<input type="checkbox"/>	People Laboratorio	1.000000	Laboratorio people definition	Ocupacion Laboratorio	Actividad laboratorios 160 W/perso
	<input type="checkbox"/>	Lights Laboratorio	1.000000	Laboratorio Lights Definition	Iluminación Laboratorio	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment Laboratorio	1.000000	laboratorio Equipment Definition	Equipos Laboratorio	
	<input type="checkbox"/>	2,75 ACH			Ocupacion Laboratorio	
Tipo Pasillo	<input type="checkbox"/>	People Pasillo	1.000000	Pasillo people definition	Ocupacion Pasillo	Actividad pasillo 165 W/perso
	<input type="checkbox"/>	Lights Pasillo	1.000000	Pasillo Lights Definition	Iluminación Pasillo	

Figura 98. Introducción general de cargas internas

## 8. Estudio CTE

### 8.1. Introducción

En este apartado se pretende realizar una versión de la simulación de la planta mediante valores límite de referencia impuestos por el Código Técnico de Edificación CTE. En la sección del código técnico de edificación, DB-HE Documento básico de ahorro de energía, se establecen reglas y procesos objetivos para cumplir las exigencias del ahorro de energía, cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de ahorro de energía. En este reglamento DB-HE-Ahorro de energía me centraré en el apartado HE1 Limitación de demanda energética, donde se imponen valores límite de la envolvente térmica para edificios, con el fin de realizar una nueva simulación con Openstudio mediante los valores límite definidos de transmitancias térmicas en las envolventes del edificio.

Por lo tanto, las construcciones del edificio de estudio se definirán mediante los valores de transmitancia impuestos por la misma normativa, que se detallará previamente. Las definiciones internas como horarios o cargas serán los mismos que el edificio real, definidos en el apartado 7, *Descripción de horarios y Descripción de cargas internas*.

### 8.2. Normativa CTE

El Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE) para dar cumplimiento a los requisitos básicos de la edificación establecidos en la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, Ley de Ordenación de la Edificación (LOE). Los objetivos son garantizar la seguridad y bienestar social, sostenibilidad de la edificación y la protección del medio ambiente.

El Código Técnico de la Edificación crea un marco normativo homologable al existente en la Unión Europea y armoniza la reglamentación nacional de la edificación con la europea de las Directivas 89/106/CEE del Consejo y 202/91/CE del Parlamento. Este conjunto normativo que constituye el CTE se divide en dos partes de carácter reglamentario.

La primera parte contiene las disposiciones de carácter general:

- Ámbito de aplicación.
- Estructura.
- Clasificación de usos.
- Requisito de seguridad.
- Requisitos de habitabilidad.

En cambio, la segunda parte contiene los Documentos Básicos (DB), creada para ser utilizada y garantizar el cumplimiento de estas exigencias y requisitos:

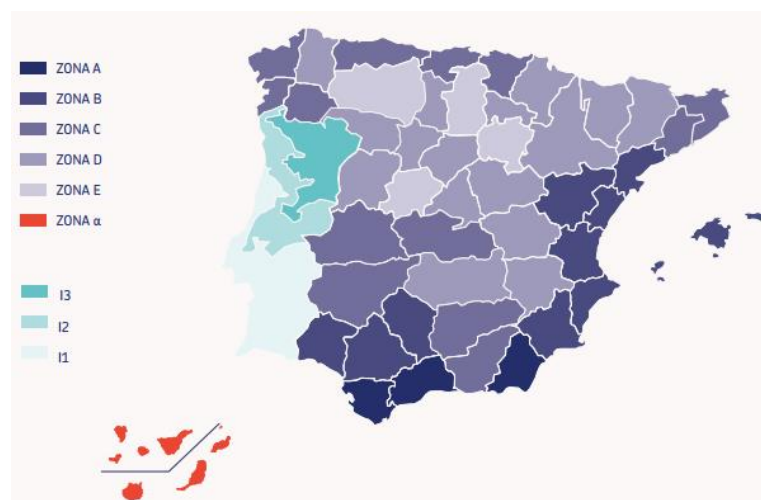


- Seguridad estructural
- Seguridad en caso de incendio
- Seguridad de utilización. Introducción al Código Técnico de la Edificación (CTE) 13
- Higiene, salud y protección del medio ambiente.
- Protección contra el ruido.
- Ahorro de energía y aislamiento térmico.

Tras el período de seis meses desde la aprobación del Código Técnico de Edificación en Setiembre de 2006, los Documentos Básicos referentes al ahorro de energía y aislamiento térmico (DB-HE) y a la seguridad en caso de incendio (DB-SI) son de obligado cumplimiento en obras de edificación de nueva construcción y en obras de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación. No obstante, ha habido nuevas modificaciones del Código Técnico de la Edificación en el transcurso de los años. En Septiembre de 2013 se publicó una nueva actualización. La modificación para el Documento Básico HE Ahorro de energía implicó diferencias muy relevantes respecto a la norma de 2006 tanto en la forma de calcular como en la de aislar los edificios. Las actualizaciones que se introdujeron en el 2013 adoptan medidas para reducir la dependencia energética, como también las emisiones de gases de efecto invernadero, dentro del denominado objetivo 20-20-20, constituyendo una aproximación hacia el objetivo de 2020 de conseguir edificios de consumo de energía casi nulo.

Así pues, las principales novedades en el documento de Ahorro de Energía de 2013 fueron:

- Nuevos valores de transmitancia recomendados para el cumplimiento del DB-HE.
- Limitación del consumo energético
- Requerimientos sobre rehabilitación
- Nuevas zonas climáticas



**Figura 99.** Gráfico de las zonas climáticas del CTE DB-HE

### 8.3. DB-HE-Ahorro de Energía

En el documento básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de Edificación de 2013, se establecen una serie de exigencias que tienen por objeto conseguir un uso racional de la energía para la utilización de los edificios estando dentro de unos límites de consumo sostenibles.

- HE 0: Limitación del consumo energético
- HE 1: Limitación de la demanda energética
- HE 2: Rendimiento de las instalaciones térmicas
- HE 3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación
- HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria
- HE 5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica

Una sección destacada es la limitación de la demanda energética, el código propone que los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que han de lograr la limitación de demanda energética bajo mínimos de bienestar térmico.

#### 8.3.1. HE1: Limitación de la demanda energética

Esta sección del documento DB-HE dicta que los edificios deben disponer de envolventes térmicas con unas características que limiten la demanda energética para alcanzar el bienestar térmico, limitando la transmitancia térmica (U) de todos los elementos constructivos que forman la piel del edificio y por donde más pérdidas o ganancias pueden haber, en función del clima de la localidad, del tipo de edificio y del régimen verano-invierno, las características de aislamiento, la permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades superficiales e intersticiales y tratando puentes térmicos. Se apuesta por ganancias térmicas mediante la mejora del espesor del aislamiento térmico, porque siempre irá acompañada de un ahorro energético, pudiendo llegar a compensar pérdidas energéticas en otros elementos que conformen la envolvente térmica.

1. La normativa HE1 se aplica a:

a) edificios de nueva construcción

b) intervenciones en edificios existentes:

- Aquellos en los que se incremente la superficie o el volumen construido
- Cualquier trabajo u obra de reforma en un edificio existente distinto del que se lleve a cabo para el exclusivo mantenimiento del edificio
- Cambio de uso.

2. Se excluyen del ámbito de aplicación del HE1:

a) Los edificios históricos protegidos oficialmente por ser parte de un entorno declarado o en razón de su particular valor arquitectónico o histórico, en la medida en que el cumplimiento de

determinadas exigencias básicas de eficiencia energética pudiese alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto, siendo la autoridad que dicta la protección oficial quien determine los elementos inalterables.

b) Construcciones provisionales con un plazo previsto de utilización igual o inferior a dos años; c) edificios industriales, de la defensa y agrícolas no residenciales, o partes de los mismos, de baja demanda energética. Aquellas zonas que no requieran garantizar unas condiciones térmicas de confort, como las destinadas a talleres y procesos industriales, se considerarán de baja demanda energética.

d) Edificios aislados con una superficie útil total inferior a 50 m<sup>2</sup>

e) Las edificaciones o partes de las mismas que, por sus características de utilización, estén abiertas de forma permanente

f) Cambio del uso característico del edificio cuando este no suponga una modificación de su perfil de uso

En el apartado HE1 se define que la transmitancia térmica y permeabilidad al aire de los huecos y la transmitancia térmica de las zonas opacas de muros, cubiertas y suelos, que formen parte de la envolvente térmica del edificio, no debe superar los valores establecidos en la Tabla 100.

Parámetro	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno [W/m·K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m·K]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmitancia térmica de huecos [W/m·K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos [m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup> ]	<50	<50	<50	<27	<27	<27

**Tabla 100.** Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica

Fuente: Documento DB-HE del CTE de Junio 2017

El CTE define un edificio de referencia a aquel con la misma forma, tamaño, orientación, zonificación interior, uso de cada espacio, e iguales obstáculos remotos que el edificio objeto. Los parámetros de transmitancia y factor solar de los elementos de la envolvente térmica son los establecidos teniendo en cuenta que la zona climática, para este caso es Barcelona, es la C2.

En el apéndice D de la sección DB-HE del CTE se exponen las características de los edificios de referencia según las zonas climáticas españolas. Estas tablas coinciden con los valores dados en el antiguo HE1 para todos los edificios, respecto a transmitancia de cerramientos y huecos, y factor solar modificado de huecos.

Zona climática C2		
Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}$	0,73 W/m <sup>2</sup> ·K
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}$	0,50 W/m <sup>2</sup> ·K
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}$	0,41 W/m <sup>2</sup> ·K
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Lim}$	0,37

**Tabla 11.** Valores de transmitancias térmicas en función de la zona climática  
Fuente: Apéndice D Catálogo HE1 CTE

% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim}$ W/m <sup>2</sup> K				Factor solar modificado límite de huecos $F_{Hlim}$					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Media, alta o muy alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	4,4	4,4	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,4	3,9	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,9	3,3	4,3	4,3	-	-	-	0,60	-	-
de 31 a 40	2,6	3,0	3,9	3,9	-	-	-	0,47	-	0,51
de 41 a 50	2,4	2,8	3,6	3,6	0,59	-	-	0,40	0,58	0,43
de 51 a 60	2,2	2,7	3,5	3,5	0,51	-	0,55	0,35	0,52	0,38

**Tabla 101.** Transmitancia térmica en huecos en función de la zona climática y la orientación

## 8.4. Simulación con CTE

En este apartado el objeto es simular el edificio de referencia, para ello se le va a imponer como límite de la envolvente térmica los valores de transmitancias térmicas de la normativa CTE, concretamente apartado DB-HE1 Limitación de la demanda energética.

Se ha de tener en cuenta que el ala izquierda de la planta 6 está rodeada de pisos encima y debajo de la misma, por lo que se considerará que, para las superficies que estén en contacto con otras superficies propias de pisos adyacentes, estas serán adiabáticas, con lo que se obtiene la hipótesis de que no hay transferencia de calor entre las mismas. Por lo tanto, las superficies del suelo y del techo de la planta 6 serán adiabáticas en la aplicación de Openstudio.

		Particiones interiores	Suelos/Techos	Paredes exteriores	Huecos
Nombre		Placas prefabricadas de Pladur	Suelo/Techo construcción	Transmitancia pared	Transmitancia huecos
Capa	Exterior	Yeso laminado 10<d<18 mm	-Placa PYL 13 mm	0,73 W/m <sup>2</sup> ·K	2,4<W/m <sup>2</sup> ·K<3,6
	Interior	Aislante de lana mineral 48<d<90 mm Yeso laminado 10<d<18 mm	-Cámara aire 50 mm -Hormigón 370 mm -Mortero 29,9 mm -Placas terrazo 40 mm		

**Tabla 12.** Datos de la envolvente y particiones interiores

Las particiones interiores, que separan las diferentes estancias de laboratorios, almacenes, pasillos..., están compuestas por material de pladur con aislante intermedio, es decir, una placa interna y otra externa de yeso laminado separadas por un aislante térmico de lana mineral. Estos datos se resumen en la Tabla 12, ordenando materiales desde la cara exterior hacia la interior. En el caso de las paredes exteriores, se utilizarán los valores de transmitancia térmica de la Tabla 11, por lo que se escogerá el valor de 0,73 W/m<sup>2</sup>·K. Los huecos, según la tabla Tabla 101, se clasifican según la orientación y el porcentaje de huecos en la fachada. En el modelo se observa que el porcentaje de huecos no llega a superar el 50% por poco, por lo que se escogerán los valores de transmitancia térmica del porcentaje comprendido entre 41 a 50% de huecos en fachada, obteniendo valores comprendidos entre 2,4 y 3,6 W/m<sup>2</sup>·K, también resumidos en la Tabla 12.

Los materiales y transmitancias de la Tabla 13 se han de introducir en la aplicación de Openstudio. Para el caso de las particiones interiores, el proceso es el mismo que se ha explicado en el manual de Openstudio de este trabajo. Primeramente se deberán crear los materiales que conforman las paredes desde cero y, posteriormente, generar las construcciones con la combinación de sus materiales, desde las capas externas hasta las más internas.

Posteriormente se introducirán los materiales y construcciones propios de las fachadas, techos y suelos. Antes de inscribir datos, se ha de tener claro el proceso y las hipótesis que se consideren oportunas. Como se ha mencionado anteriormente, en este apartado el objeto es realizar la simulación energética del edificio de referencia mediante los valores de transmitancia térmica límites impuestos por el reglamento del Código Técnico de Edificación, considerando todas las cargas y particiones internas las consideradas como las del edificio objeto. Para ello se ha de conocer los conceptos de conductancia, resistencia y transmitancia, como sus fórmulas:

- **Conductividad térmica ( $\lambda$ ):** La conductividad térmica es la propiedad física de cualquier material que mide la capacidad de conducción del calor a través del mismo.

$$\lambda = \frac{e}{R} \quad (\text{Eq. 4})$$

- **Resistencia térmica (R):** Representa la capacidad del material a oponerse al flujo de calor. La resistencia térmica total  $R_t$  de un elemento constructivo es la suma de las resistencias térmicas de las diferentes capas que lo componen

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{Eq. 5})$$

- **Transmitancia térmica (U):** Representa el calor que fluye por unidad de tiempo y superficie, transferido a través de un sistema constructivo, de una o más capas, cuando hay un gradiente térmico de 1°C de temperatura entre los dos ambientes que éste separa.

$$U = \frac{1}{R} \quad (\text{Eq. 6})$$

La transmitancia, por tanto, se puede representar en función de la conductividad y espesor:

$$U = \frac{1}{R} \rightarrow \frac{1}{\frac{e}{\lambda}} \quad (\text{Eq. 7})$$

Como combinación de las fórmulas de transmitancia, resistencia y conductividad, se obtiene la siguiente expresión:

$$\lambda = U \cdot e \quad (\text{Eq. 8})$$

Para el caso de la construcción de los componentes de la envolvente, no es posible crear nuevos materiales definidos directamente por su transmitancia térmica, ya que en Openstudio los materiales se crean en función de la rugosidad, espesor, densidad y conductividad, como se ha visto en el manual de este trabajo. Por ello, la ecuación Eq. 8 Servirá para calcular la conductividad de las paredes en función de las transmitancias impuestas en la Tabla 12. Para verificar que se llega al valor de transmitancia, será necesario acudir a los resultados de la simulación de EnergyPlus, concretamente en los resultados de **Envelope Summary** en formato .HTML. En ese apartado se resumen dos tablas de interés para la verificación de estos valores. La primera tabla, **Opaque Exterior**, refleja valores de transmitancia térmica en las fachadas que se hayan creado en el modelo, mientras que en la tabla **Exterior Fenestration** aparecen los valores de transmitancia de los huecos de las fachadas.

Los resultados de transmitancias térmicas que aparezcan en los informes de **Envelope Summary** serán los valores que se hayan utilizado de transmitancias para calcular la conductividad térmica en el apartado **Materials**, mediante la Eq. 8. Por lo tanto, el espesor del material no influirá en la transmitancia, siempre y cuando se escriba el mismo valor de espesor (en m) en la clase **Thickness** y **Conductivity**.

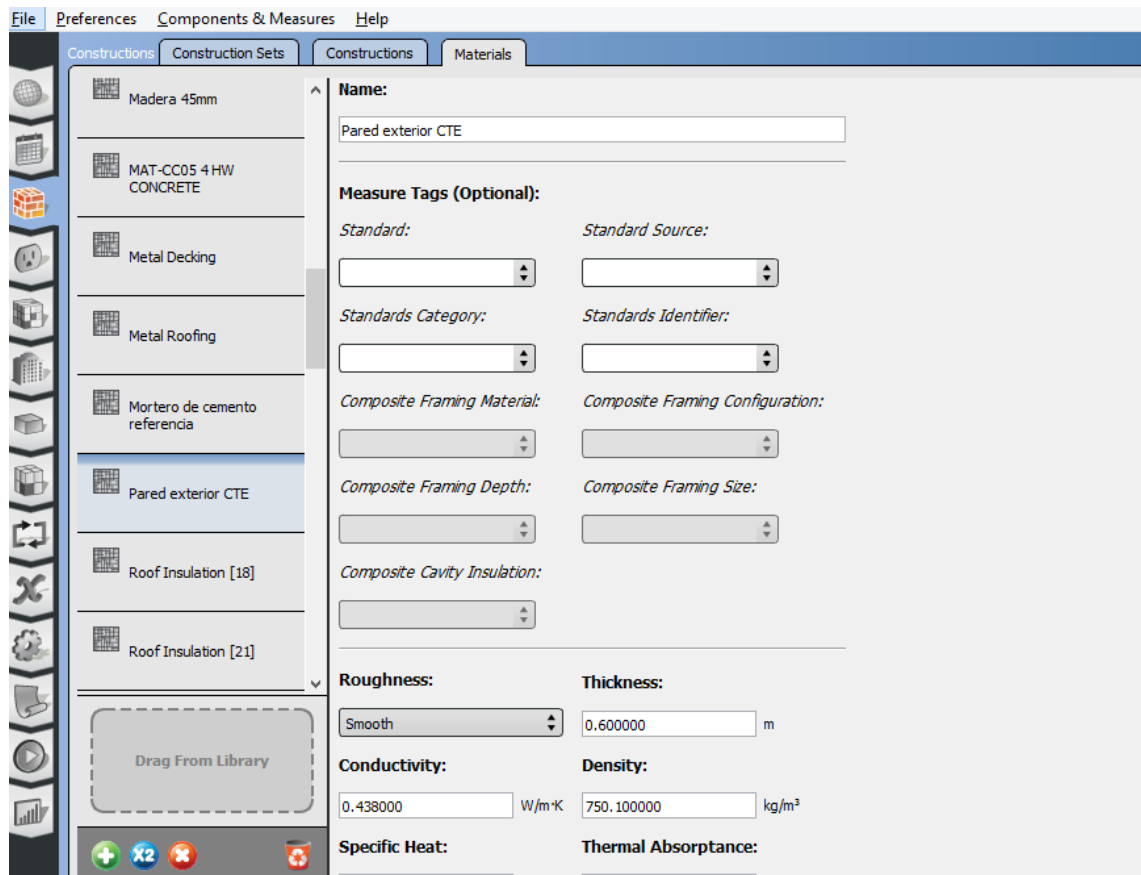


Figura 102. Creación de material representativo de la fachada CTE

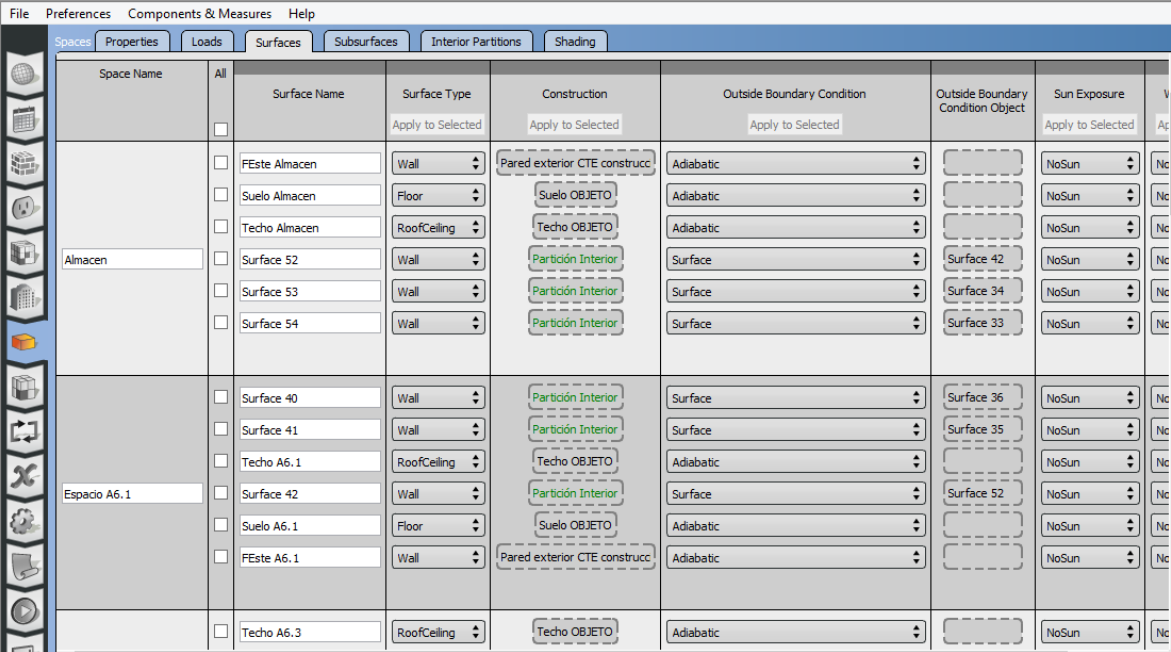
Por ejemplo, para generar una construcción que represente la fachada según su valor de transmitancia impuesto por CTE, se creará un nuevo material *Pared exterior CTE* que tenga un valor de espesor de 0.33, el correspondiente a la pared objeto, y una transmitancia de 0,73 W/m<sup>2</sup>·K (según Tabla 12) y, por lo tanto, una conductividad de:

$$\lambda_{fachadaCTE} = U_{fachadaCTE} \cdot e_{fachada} = 0,730,33 = 0,24 W / m \cdot K \quad (\text{Eq. 9})$$

El valor de conductividad y espesor se escribirán en los apartados correspondientes, como se muestra en la Figura 102. La densidad tampoco influirá en la transmitancia térmica, por lo que el valor se puede escoger libremente. Una vez creado el material que represente el total de la fachada, este se arrastrará a una nueva construcción *Pared exterior CTE construcción*, compuesta

por únicamente ese material. Este proceso se repetirá para el resto de elementos que lo requieran.

Una vez creadas las construcciones de la envolvente y particiones interiores, será preciso acudir a la pestaña **Surfaces** del apartado **Spaces** para asignar las construcciones pertinentes a cada superficie del modelo, dependiendo de si se trata de suelo, techo, pared exterior o pared interior, como se ve en la Figura 103. En ella se constata que las paredes exteriores están construidas según *Pared exterior CTE construcción*, mientras que el suelo y el techo tienen las construcciones y medidas propias de las construcciones reales, como se detallará en el apartado de Edificio Objeto. Se deberá tener en cuenta la hipótesis de que suelos, techo y ciertas paredes que delimitan los espacios del edificio que se va a modelar y espacios contiguos a esa planta que no se van a modelar son de tipo adiabáticas, por lo que será necesario modificar el objeto **Outside Boundary Condition** con un entrono **Adiabatic**. Dado que en esta particularidad se ha tenido que modificar las condiciones de contorno, ya que no estaban al exterior, se deberá modificar el entorno **Sun Exposure** y **Wind Exposure**, debido a que estas superficies adiabáticas no están expuestas al sol ni reciben viento exterior, por lo tanto se les aplicará una clasificación de *NoSun* y *NoWind*, respectivamente.



Space Name	Surface Name	Surface Type	Construction	Outside Boundary Condition	Outside Boundary Condition Object	Sun Exposure	Wind Exposure
		Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected		Apply to Selected	Apply to Selected
Almacen	<input type="checkbox"/> FEste Almacen	Wall	Pared exterior CTE construcción	Adiabatic		NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/> Suelo Almacen	Floor	Suelo OBJETO	Adiabatic		NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/> Techo Almacen	RoofCeiling	Techo OBJETO	Adiabatic		NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/> Surface 52	Wall	Partición Interior	Surface	Surface 42	NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/> Surface 53	Wall	Partición Interior	Surface	Surface 34	NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/> Surface 54	Wall	Partición Interior	Surface	Surface 33	NoSun	NoWind
Espacio A6.1	<input type="checkbox"/> Surface 40	Wall	Partición Interior	Surface	Surface 36	NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/> Surface 41	Wall	Partición Interior	Surface	Surface 35	NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/> Techo A6.1	RoofCeiling	Techo OBJETO	Adiabatic		NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/> Surface 42	Wall	Partición Interior	Surface	Surface 52	NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/> Suelo A6.1	Floor	Suelo OBJETO	Adiabatic		NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/> FEste A6.1	Wall	Pared exterior CTE construcción	Adiabatic		NoSun	NoWind
	<input type="checkbox"/> Techo A6.3	RoofCeiling	Techo OBJETO	Adiabatic		NoSun	NoWind

**Figura 103.** Visión general de las superficies de los espacios, condiciones de contorno, tipo de construcción.

Por otro lado, las ventanas de referencia, según la tabla Tabla 101, se clasifican según la orientación y el porcentaje de huecos en la fachada. En el modelo se observa que el porcentaje de huecos no llega a superar el 50% por poco, por lo que se escogerán los valores de transmitancia térmica del porcentaje comprendido entre 41 a 50% de huecos en fachada, de la misma tabla. Se han de crear tres tipos de ventana de referencia, las que están en la fachada orientada al Nord-Este(NE), Sud-Oeste(SO), Este y Oeste(E/O), con valores de 2.4, 3.6 y 2.8 respectivamente, ya que



corresponden a la orientación que tiene cada fachada. Estas transmitancias se podrán introducir directamente en el apartado **Simple Glazing Systems Windows Materials**, donde se puede definir el ensamblaje de la ventana como un nuevo material por el valor de su transmitancia térmica, como se ve en la Figura 104. Con ese material se podrá definir de igual forma la construcción de la ventana de referencia de CTE.

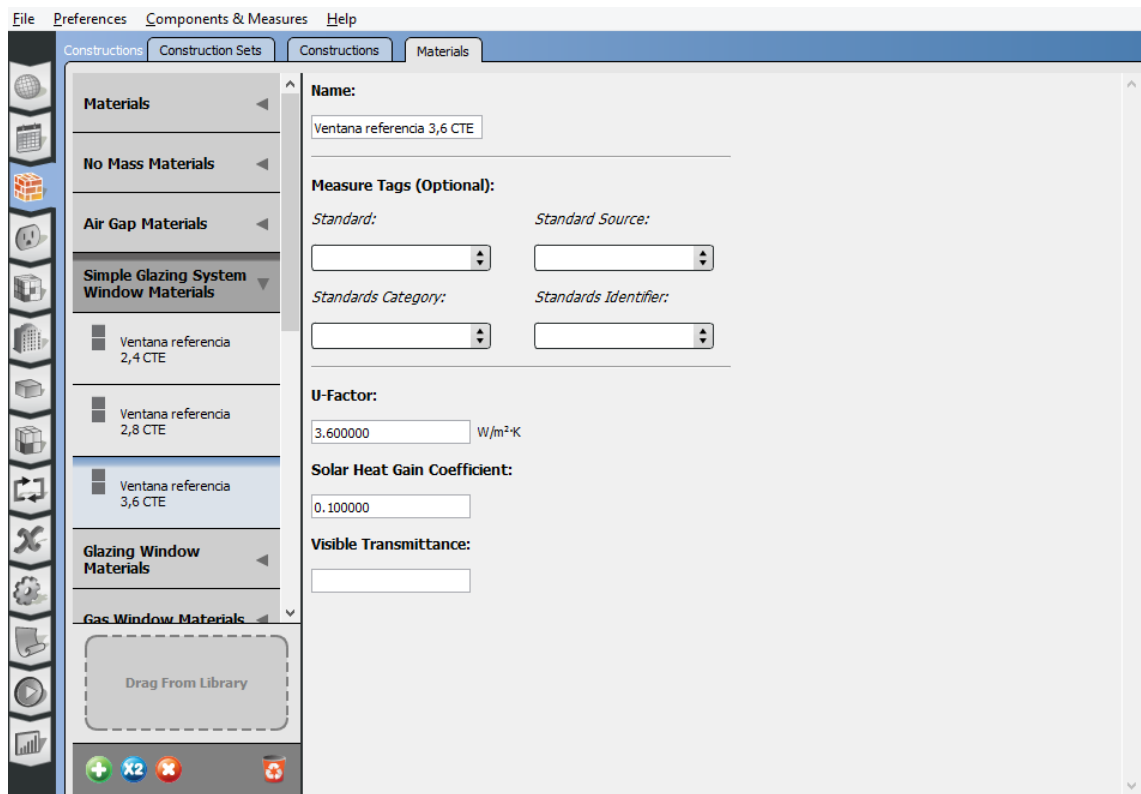


Figura 104. Introducción de la ventana de referencia CTE

Una vez se han creado las construcciones de los tres tipos de ventana de referencia posibles, se procede a asignar cada construcción a la ventana correspondiente según la orientación que tenga en la fachada del espacio en cuestión. Es importante vigilar que cuando se asigna un conjunto de construcciones a un tipo de espacio, se asignará la configuración de construcciones que se haya creado previamente, por lo que se deberá realizar modificaciones, como en el caso de las ventanas según la orientación. Como en el conjunto de construcciones se había asignado una construcción de ventana “por defecto”, las ventanas aparecían en el sub-apartado **Subsurfaces** del apartado **Spaces** con la construcción por defecto, de manera que ha sido necesario arrastrar las construcciones pertinentes a cada ventana, como se muestra en la Figura 105.

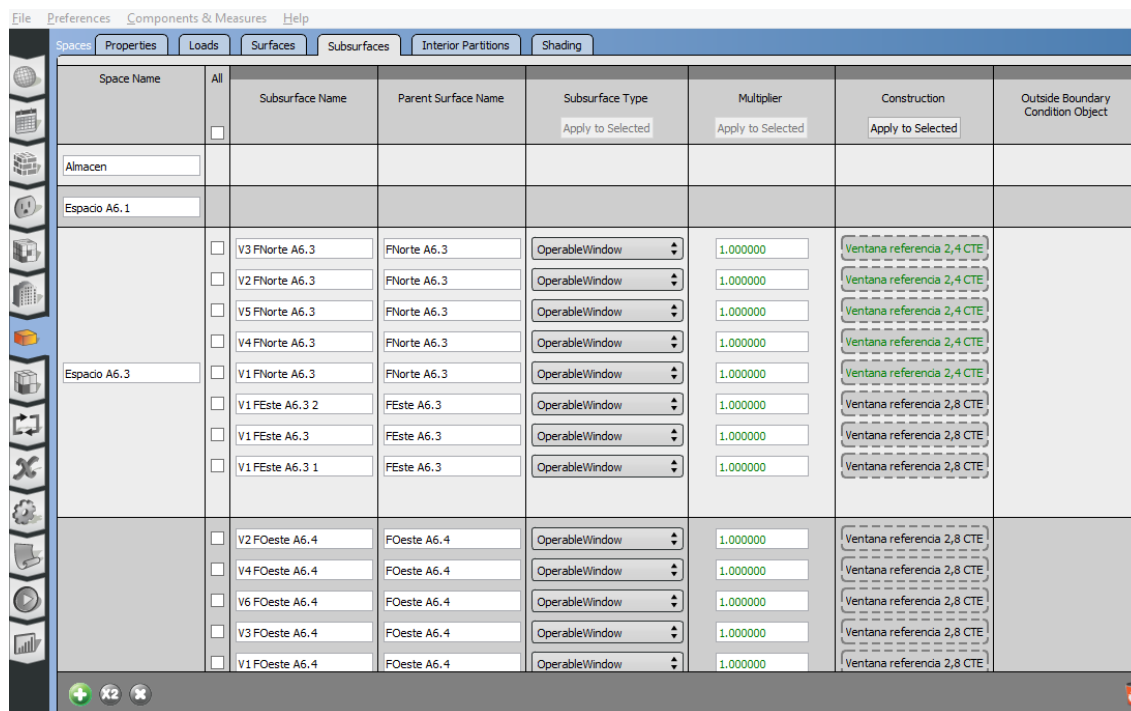


Figura 105. Asignación de ventanas de referencia según su orientación en el modelo

## 8.5. Resultados CTE

Finalmente, se procede a realizar la simulación desde el apartado **Run Simulation**. Inicialmente se registraron problemas que no permitían efectuar la completa simulación, por lo que fue necesario acudir al fichero de errores .HTML.

Para poder identificar todos los elementos del modelo más fácilmente y presentar una mejor organización de trabajo, se renombraron todos los elementos. El nombre cada fachada se reescribió siguiendo el patrón de F(fachada)-Este(coordenadas)-A6.8(Espacio al que pertenece), quedando como resultado un nombre como *FEste A6.8*, y de forma similar se ha practicado para los demás elementos del modelo. En el fichero de errores, en el caso de haber algún elemento con errores leves o graves, estos aparecen de forma ordenada y con textos indicativos que anuncian donde se puede encontrar el error y qué elemento puede ser el causante y, como todos los elementos del modelo están renombrados estratégicamente, la tarea para resolver inconvenientes ha resultado menos compleja de lo que podría haber sido.

Uno de los errores fue que, al asignar el valor de adiabático a las superficies, el programa elimina sus construcciones por defecto, de forma que se identificaba un error, cuando se ejecutaba la simulación, al no haber una construcción asignada a una superficie, aunque no hubiera flujo de calor. En el fichero de errores se indicaba en qué superficies se producía este problema, por lo que simplemente se acudió al apartado de **Surfaces** para asignar de nuevo la construcción.

Se encontraron otros fallos en el caso de horarios de termostato, por incongruencias que fueron resueltas en el momento. Otros problemas se indicaron de carácter leve, relacionados con las construcciones inutilizadas en el modelo. En este caso se puede, o bien purgar los elementos inutilizados del modelo, o simplemente no efectuar ningún cambio, ya que este aviso es leve y no genera problemas en la simulación.

Una vez se asume que no hay más errores que corregir, se puede acceder al apartado de resultados de la simulación con Openstudio. A continuación se muestran los gráficos de más relevancia.

### 8.5.1. Indicadores de consumo

En los resultados de Openstudio, una de las gráficas principales es la indicada en **Annual Overview**. En ella se resumen los consumos principales del edificio, que en este caso son la calefacción, refrigeración, iluminación y equipos. Cada consumo que se vaya añadiendo en el comportamiento del edificio, este aparecerá en la gráfica de consumos. En la Figura 106 se muestra el gráfico con la sectorización de los distintos consumos anuales, mientras que en la Tabla 14 se resumen los valores de dichos consumos, en kWh y en valores porcentuales.

En este caso, se observa en la Figura 106 que el mayor consumo reside en la calefacción, con un porcentaje del 51% sobre el total de consumo del edificio. Esto se debe a que la calefacción está prevista desde Mayo a Octubre aproximadamente, disponible durante toda la jornada. El siguiente porcentaje más alto está en el uso de los equipos, ya que estos residen en los espacios de laboratorio, y estos condicionan los resultados debido al gran número de este tipo de espacio. En los últimos casos se encuentra el consumo por iluminación y por refrigeración. El porcentaje de consumo refrigeración sobre el total es del 8%, debido a que el frío es necesario en épocas de verano o cercanas a ella, y en los meses de Julio y Agosto se considera que no hay ocupación, por lo que la demanda en ese período es nula.

	Consumo (kWh)	Porcentaje (%)
Calefacción	13694.3	51
Refrigeración	2041.5	8
Iluminación	5113,79	19
Equipos	5786,10	22

**Tabla 14.** Listado de consumos anuales

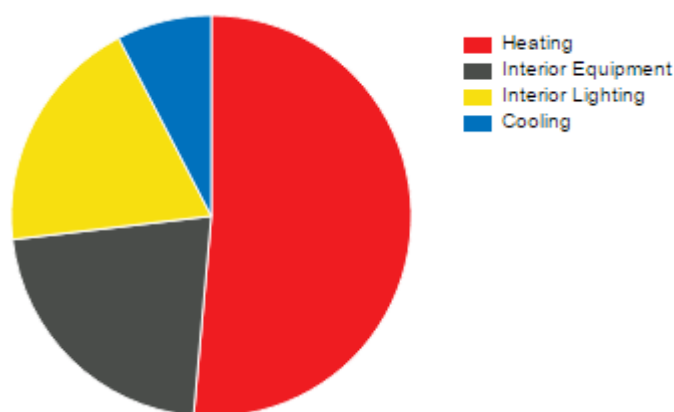


Figura 106. Sectorización de uso anual de energía

### 8.5.2. Resultados de consumo eléctrico

En el apartado **Monthly overview** de los resultados de Openstudio se registran los gráficos de consumos mensuales de electricidad, para la iluminación interior y los equipos eléctricos, como se muestra en la Figura 107. En esta figura se comprueba que durante el año el consumo de electricidad se mantiene estable, obteniendo valores comprendidos entre 500-600 kWh al mes para el caso de electricidad y de 600 kWh para los equipos eléctricos.

En la gráfica se muestra que durante los meses de Julio y Agosto no existe ningún tipo de consumo, debido a que en estos meses se considera que el edificio está vacío, sin ninguna carga interna. En los meses de Junio y Setiembre los valores de consumo eléctrico se ven reducidos a la mitad, ya que solo se contabiliza para la mitad del mes en ambos casos, para el fin y comienzo de cuadrimestre.

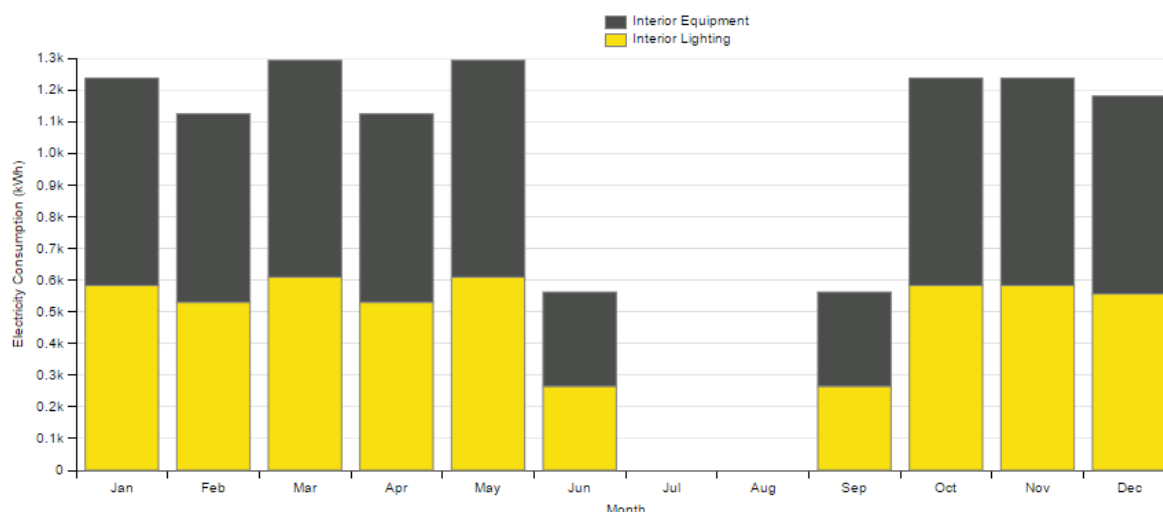
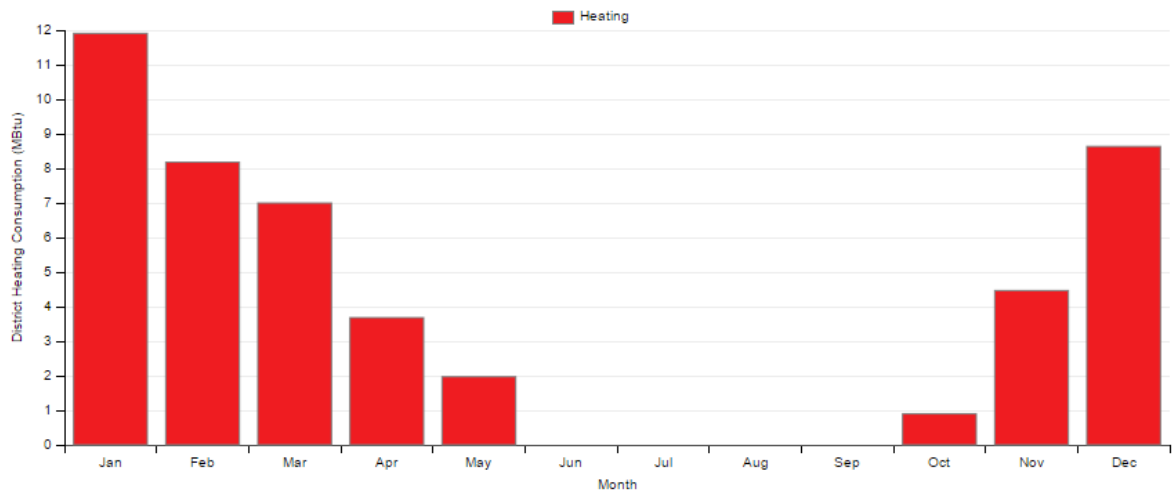


Figura 107. Gráfico consumo mensual de iluminación interior y equipos

### 8.5.3. Resultados consumo calefacción y refrigeración

En este apartado se muestran los resultados mensuales de las gráficas para calefacción y refrigeración, mostrados en la Figura 108 y Figura 109. En el primer caso, se observa que el período de calefacción está comprendido entre los meses de Octubre y Mayo, entre cuyos meses el valor de consumo sufre grandes perturbaciones.

En los meses más calurosos, entre mayo y Octubre, la demanda de calor es casi nula, mientras que en Diciembre y Enero se registran los valores más elevados, siendo el valor pico de 3487.54 kWh en calefacción.



**Figura 108.** Gráfico del consumo mensual de calefacción

Como es de esperar, durante los meses que no haya demanda de calefacción, probablemente haya demanda de frío, por lo que son valores inversos. En los períodos donde se reduce, o bien no hay consumo de calefacción, que es entre Mayo y Octubre, la demanda de refrigeración aumentará. Los meses donde más demanda de frío hay es en Septiembre y Junio, obteniendo en el primer caso el valor máximo de 603.7 kWh. Durante los meses de Julio y Agosto la demanda de calor y frío es nula, debido a que el edificio está cerrado y no existe ningún tipo de carga interna.

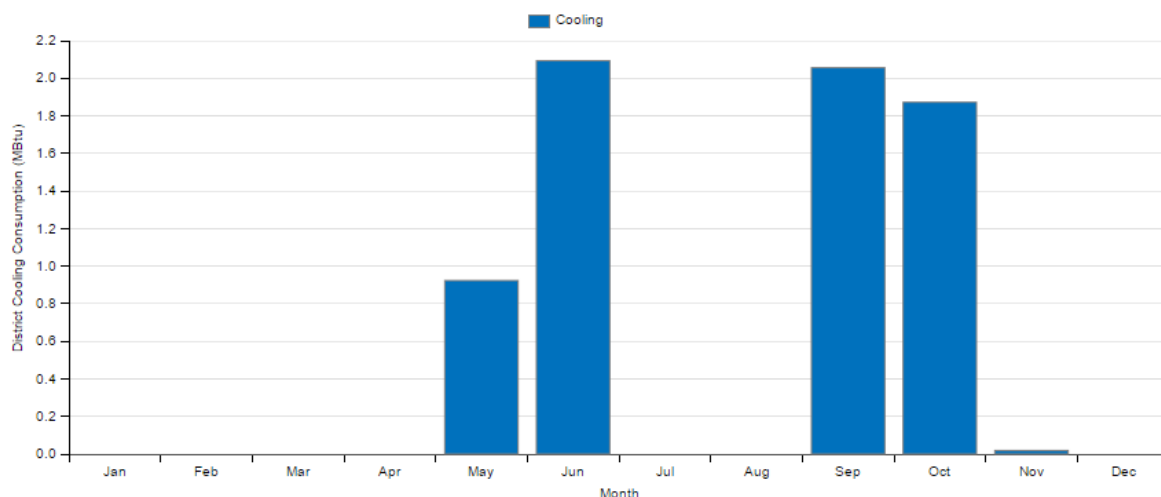


Figura 109. Gráfico del consumo mensual de refrigeración

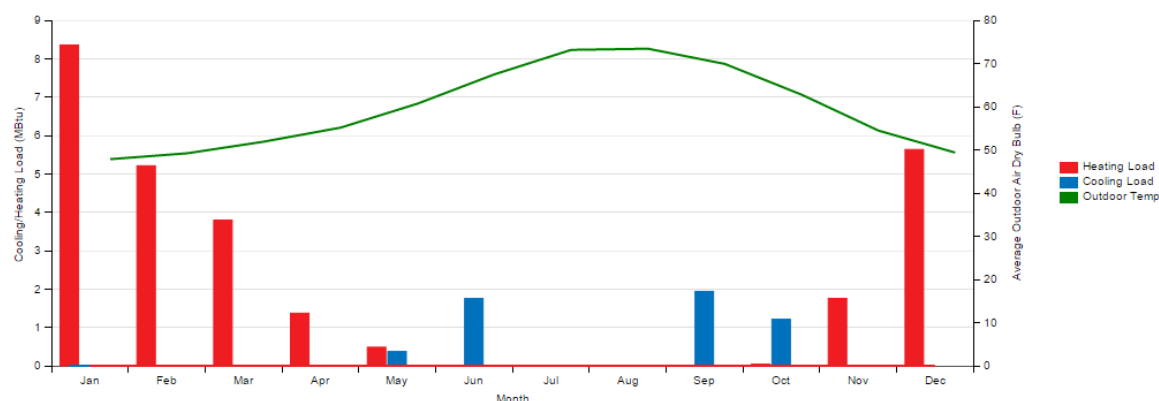


Figura 110. Gráfica del consumo de calefacción, refrigeración y temperatura de bulbo seco mensuales

#### 8.5.4. Resultados de transmitancias

Acudiendo al apartado **Envelope Summary** se puede comprobar que las transmitancias térmicas en cada superficie y hueco son las esperadas y límite según CTE, como se muestra en las Figura 111 y Figura 112 en la columna **U-Factor No Film**. No obstante, las superficies adiabáticas no se encuentran en la tabla, eso se debe a que estas superficies, al no presentar intercambio de calor con el entorno, se consideran irrelevantes para la simulación energética.

En las tablas de resultados de superficies de las Figura 111 y Figura 112 se resume una serie de elementos. Como todos los ellos están renombrados, se puede verificar que todo está en orden, que la construcción pertenece a la superficie correspondiente, que las orientaciones son las correctas, que cada hueco está en su fachada correspondiente, etc.

Results Summary										
Reports: EnergyPlus Results										
	Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m <sup>2</sup> -K]	U-Factor no Film [W/m <sup>2</sup> -K]	Gross Area [m <sup>2</sup> ]	Net Area [m <sup>2</sup> ]	Azimuth [deg]	Tilt [deg]	Cardinal Direction	
FESTE A6.8	PARED EXTERIOR CTE CONSTRUCCIÀ/N	0.30	0.658	0.730	16.30	10.09	90.00	90.00	E	
FSUR A6.8	PARED EXTERIOR CTE CONSTRUCCIÀ/N	0.30	0.658	0.730	12.04	7.30	180.00	90.00	S	
FESTE A6.3	PARED EXTERIOR CTE CONSTRUCCIÀ/N	0.30	0.658	0.730	14.76	10.01	90.00	90.00	E	
FNORTE A6.3	PARED EXTERIOR CTE CONSTRUCCIÀ/N	0.30	0.658	0.730	20.08	12.17	0.00	90.00	N	
FNORTE A6.4	PARED EXTERIOR CTE CONSTRUCCIÀ/N	0.30	0.658	0.730	32.34	19.69	0.00	90.00	N	
FOESTE A6.4	PARED EXTERIOR CTE CONSTRUCCIÀ/N	0.30	0.658	0.730	24.33	14.85	270.00	90.00	W	
FOESTE A6.5	PARED EXTERIOR CTE CONSTRUCCIÀ/N	0.30	0.658	0.730	20.22	12.31	270.00	90.00	W	
FOESTE A6.6	PARED EXTERIOR CTE CONSTRUCCIÀ/N	0.30	0.658	0.730	16.07	9.75	270.00	90.00	W	
FOESTE A6.7	PARED EXTERIOR CTE CONSTRUCCIÀ/N	0.30	0.658	0.730	16.30	9.97	270.00	90.00	W	
FSUR A6.7	PARED EXTERIOR CTE CONSTRUCCIÀ/N	0.30	0.658	0.730	48.58	29.61	180.00	90.00	S	
FNORTE	PARED EXTERIOR CTE	...	...	...	...	...	...	...	...	

Figura 111. Valores de transmitancias térmicas para superficies opacas

Results Summary																
Reports: EnergyPlus Results																
	Construction	Glass Area [m <sup>2</sup> ]	Frame Area [m <sup>2</sup> ]	Divider Area [m <sup>2</sup> ]	Area of One Opening [m <sup>2</sup> ]	Area of Multiplied Openings [m <sup>2</sup> ]	Glass U-Factor [W/m <sup>2</sup> -K]	Glass SHGC	Glass Visible Transmittance	Frame Conductance [W/m <sup>2</sup> -K]	Divider Conductance [W/m <sup>2</sup> -K]	Shade Control	Parent Surface	Az		
V1 FESTE A6.8	VENTANA REFERENCIA 2i CTE	1.58	0.00	0.00	1.58	1.58	2.803	0.102	0.041			No	FESTE A6.8			
V1 FESTE A6.8.1	VENTANA REFERENCIA 2i CTE	1.58	0.00	0.00	1.58	1.58	2.803	0.102	0.041			No	FESTE A6.8			
V1 FESTE A6.8.2	VENTANA REFERENCIA 2i CTE	1.52	0.00	0.00	1.52	1.52	2.803	0.102	0.041			No	FESTE A6.8			
V1 FESTE A6.8.3	VENTANA REFERENCIA 2i CTE	1.52	0.00	0.00	1.52	1.52	2.803	0.102	0.041			No	FESTE A6.8			
V1 FSUD A6.8	VENTANA REFERENCIA 3s CTE	1.58	0.00	0.00	1.58	1.58	3.604	0.103	0.039			No	FSUR A6.8	1		
V2 FSUD A6.8	VENTANA REFERENCIA 3s CTE	1.58	0.00	0.00	1.58	1.58	3.604	0.103	0.039			No	FSUR A6.8	1		
V3 FSUD A6.8	VENTANA REFERENCIA	1.58	0.00	0.00	1.58	1.58	3.604	0.103	0.039			No	FSUR A6.8	1		

Figura 112. Valores de transmitancias térmicas para huecos

## 9. Estudio NZEB

### 9.1. Introducción

En los apartados anteriores se ha hablado sobre el marco normativo del Código Técnico de la Edificación (CTE), como también de sus nuevas propuestas. En este nuevo caso se realizará una nueva simulación con Openstudio, como se hizo en el apartado del estudio con CTE pero dentro del ámbito de la normativa de Edificios de Consumo Casi Nulo (Nzeb). A continuación se explica brevemente los objetivos para llegar al edificio NZEB, el marco normativo en el que se encuentra actualmente, y finalmente los criterios para realizar la nueva simulación, mediante los valores de transmitancia límite que pueda imponer esta normativa. Esta nueva simulación registrará otros valores nuevos, diferentes a los del cálculo con valores del CTE, de consumos y demandas al imponer límites de transmitancias límite de la envolvente con valores de normativa nZEB.

### 9.2. Objetivos de NZEB

El Instituto Catalán de Energía de la Generalitat de Catalunya anuncia que el sector de la edificación representa el 40% del consumo energético total de la Unión Europea y que, por lo tanto, debe ser una prioridad reducir el consumo en este ámbito en el marco de la Estrategia Europea 2020 (aprobada por el Consejo Europeo el marzo de 2007), conocida como 20-20-20, para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador. Esta nueva estrategia de reducción de consumo tiene principalmente tres objetivos:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 20% respecto a 1990 con el compromiso bajo acuerdo internacional de elevar el objetivo hasta el 30%.
- Llegar a una contribución del 20% de fuentes renovables en el consumo de energía final de la UE en 2020 y del 10% en el sector del transporte.
- Aumentar la eficiencia energética con el fin de ahorrar un 20% del consumo energético de la UE respecto de las proyecciones para el año 2020.

Estas tres reglas conforman el marco del 20-20-20 para el año 2020. Después de este tratado, se aprobó el Acuerdo de París, en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de diciembre de 2015. En el Acuerdo de París, los líderes mundiales pactaron el objetivo de mantener la temperatura media mundial por de 2°C respecto a niveles preindustriales, y seguir persistiendo en limitar el nivel de temperatura a 1,5°C, debiendo ser las emisiones nulas en 2050. Antes de la conferencia de París, y durante esta, los países presentaron planes generales nacionales de actuación contra el cambio climático para reducir sus emisiones, y así promover la resiliencia al clima, adaptándose al cambio climático.

En este contexto, el 19 de mayo de 2010 se publica la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética de los edificios, que afecta el consumo energético de la calefacción, el calentamiento de agua, la refrigeración, la ventilación y la



iluminación por los edificios nuevos y existentes, tanto residenciales como no residenciales. Esta Directiva define los edificios de consumo de energía casi cero (Nearly Zero Energy Building - NZEB) y es una refundición de la Directiva 2002/91/UE, que inició el camino para contribuir a la reducción del consumo energético los edificios de la UE

En la Figura 113 se muestra la incorporación de la nueva definición de edificios de consumo de energía casi nulo, en los planes de actuación reglamentaria existentes, planes redactados por el ministerio de fomento de España.

Normativa existente	2006	Documento Básico DB HE de Ahorro de energía
	2007	Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE)
	2007	Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción
Objetivos intermedios a 2015	2013	Modificación del Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE). Introducción de la obligación de que todos los edificios nuevos sean de consumo de energía casi nulo en 2020 (2018 para los de la Administración)
	2013	Actualización del Documento Básico DB HE de Ahorro de energía
	2013	Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios (se amplía a edificios existentes)
Definición reglamentaria de edificios de consumo de energía casi nulo	2016-17	Actualización del Documento Básico DB HE de Ahorro de energía: Introducción de la definición detallada de edificio de consumo de energía casi nulo. Aplicación voluntaria.
	2018	Aplicación obligatoria a edificios nuevos propiedad de la administración pública
	2020	Aplicación obligatoria a todos los edificios de nueva construcción

**Figura 113.** Plan previsto para la actuación reglamentaria y la incorporación en la misma de la definición detallada de edificios de consumo de energía casi nulo

Fuente: Ministerio de Fomento

### 9.3. Normativa NZEB en Europa

La Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios establece que cada Estado miembro debe concretar la definición exacta de edificio de consumo de energía casi cero, pero se ha de mantener igualmente una definición general: *"Edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto. (...) La cantidad casi cero o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno"*.

Principalmente se delimitarán

- La demanda energética.
- El porcentaje de energía renovable utilizada.
- La energía primaria utilizada y las emisiones de CO<sub>2</sub>

En el documento de recomendaciones (UE) 2016/1318 de 29 de julio de 2016, la Comisión Europea hace un resumen del desarrollo actual de la Directiva en los estados miembros. Indica que los Estados miembros deben seguir las directrices publicadas en el anexo de estas recomendaciones para avanzar en el cumplimiento de la obligación establecida de que, a partir del 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi cero. Es de gran prioridad para la Unión Europea de la aplicación y ejecución de la normativa energética. Estas recomendaciones pretenden garantizar un cambio en los niveles de eficiencia energética, impulsando las transformaciones de edificios existentes para ser similares a edificios de consumo casi cero, y llegar a obtener edificios nuevos de consumo casi cero.

Normalmente los estados miembros usan indicadores de uso de energía en kWh/m<sup>2</sup>·año, o también otros parámetros frecuentes como los valores de transmitancia térmica (U) de la envolvente del edificio, energía final de calefacción y refrigeración o emisiones de CO<sub>2</sub>.

#### 9.4. Normativa NZEB en España y Cataluña

En el Real Decreto 235/2013, que regula el procedimiento de la certificación de eficiencia energética de edificios, se indica que España y Cataluña deberán seguir las normativas y requisitos mínimos definidos en el Código Técnico de la Edificación (CTE). No obstante, en el mismo Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, relativo a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia en el suministro energético, hay definición genérica sobre edificios de consumo casi cero (NZEB).

En el capítulo IV Artículo 13, promoción de la eficiencia energética en la producción y uso del calor y del frío, *“se define como edificio de consumo de energía casi nulo, en el ámbito de la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios, aquel edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, que se determinará de conformidad con el anexo I de la citada Directiva. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por la energía procedente de fuentes renovables, incluida la energía procedente de fuentes renovables producida <in situ> o en el entorno”*.

Aun y disponer de esta definición genérica, el “Plan Nacional destinado a aumentar el número de edificios de consumo de energía casi nulo en España”, aprobado en mayo de 2014, relata que se publicará una definición más específica y detallada del nZEB en el 2017.

En el documento del Instituto Catalán de Energía, Edificios de consumo de energía casi nulo, se publica una tabla de las transmitancias térmicas según las diferentes normativas i cuales deberían

ser los valores para llegar al hipotético caso del edificio de consumo de energía casi nulo en la zona de Barcelona.

Transmitàncies U (W/m <sup>2</sup> K)	CTE 2006	CTE 2013 <sup>1</sup>	CTE 2013 <sup>2</sup>	nZEB <sup>3</sup> (Pendent d'aprovació)	Límit possible tècnicament <sup>4</sup>
Murs de façana i tanca-ments en contacte amb el terreny	0,95	0,75	0,29	≈ 0,2	0,1
Cobertes	0,59	0,5	0,23	≈ 0,2	0,1
Tancaments en contacte amb el terreny	0,65	0,5	0,36	≈ 0,25	0,15
Obertures (conjunt fulla + marc)	4,4-3,5 (segons orientació i percentatge de forat)	3,1	1,6-2,0 <sup>5</sup>	< 1,6	0,8

**Tabla 15.** Transmitancias límite al código técnico de la edificación y propuesta para edificios de consumo de energía casi cero (Normativa pendiente de aprobación)

1. Tabla 2.3. CTE DB-HE1 2013, valores límite para la zona C2

2. CTE-2013, apéndice E-valores orientativos de parámetros característicos de la envolvente térmica para usos residenciales Fuente: Tabla 1.3. Documento Edificios de consumo de energía casi nulo, Institut Català d'Energia

## 9.5. Simulación con NZEB

Se va a realizar la simulación energética utilizando los valores de transmitancias térmicas de la envolvente impuestos en la Tabla 15, como modelo de aproximación al edificio NZEB. La metodología va a ser la misma que para el caso de Simulación con CTE, primero se establecerán los valores de transmitancias para suelos, paredes exteriores, suelos, huecos y particiones interiores para, posteriormente, introducirlos como nuevos materiales en Openstudio. Se ha de tener en cuenta, como se ha mencionado en el apartado de *Simulación con CTE*, que las superficies en contacto con plantas que no se van a simular, como suelos y techos o particiones interiores, quedarán expuestas como paredes adiabáticas en Openstudio.

		Particiones interiores	Suelos/Techo	Paredes exteriores	Huecos
Nombre		Placas prefabricadas de Pladur	Suelo/Techo construcción	Transmitancia pared	Transmitancia huecos
Capa	Exterior	Yeso laminado 10<d<18 mm	-Placa PYL 13 mm	0,2 W/m <sup>2</sup> ·K	<1,6 W/m <sup>2</sup> ·K
	Interior	Aislante de lana mineral 48<d<90 mm	-Cámara aire 50 mm -Hormigón 370 mm -Mortero 29,9 mm -Placas terrazo 40 mm		

**Tabla 16.** Valores de transmitancia térmica de particiones interiores, suelos, paredes exteriores, techos y huecos por NZEB.

Como se muestra en la Tabla 16, los valores de transmitancia en fachadas son de 0,2 W/m<sup>2</sup>·K, y para huecos ha de ser inferior a 1,6 W/m<sup>2</sup>·K para cumplir los requisitos del NZEB. En el caso de suelos, techos, y superficies en contacto con zonas que no van a ser simuladas, estas se configurarán en Openstudio como paredes adiabáticas. En el caso de huecos, no hay una normativa vigente de NZEB, pero se aproxima una transmitancia en huecos que no debe superar 1,6 W/m<sup>2</sup>·K. En el caso de las ventanas de referencia en el modelo se calculará con una transmitancia de 1,5 W/m<sup>2</sup>·K para todas las ventanas.

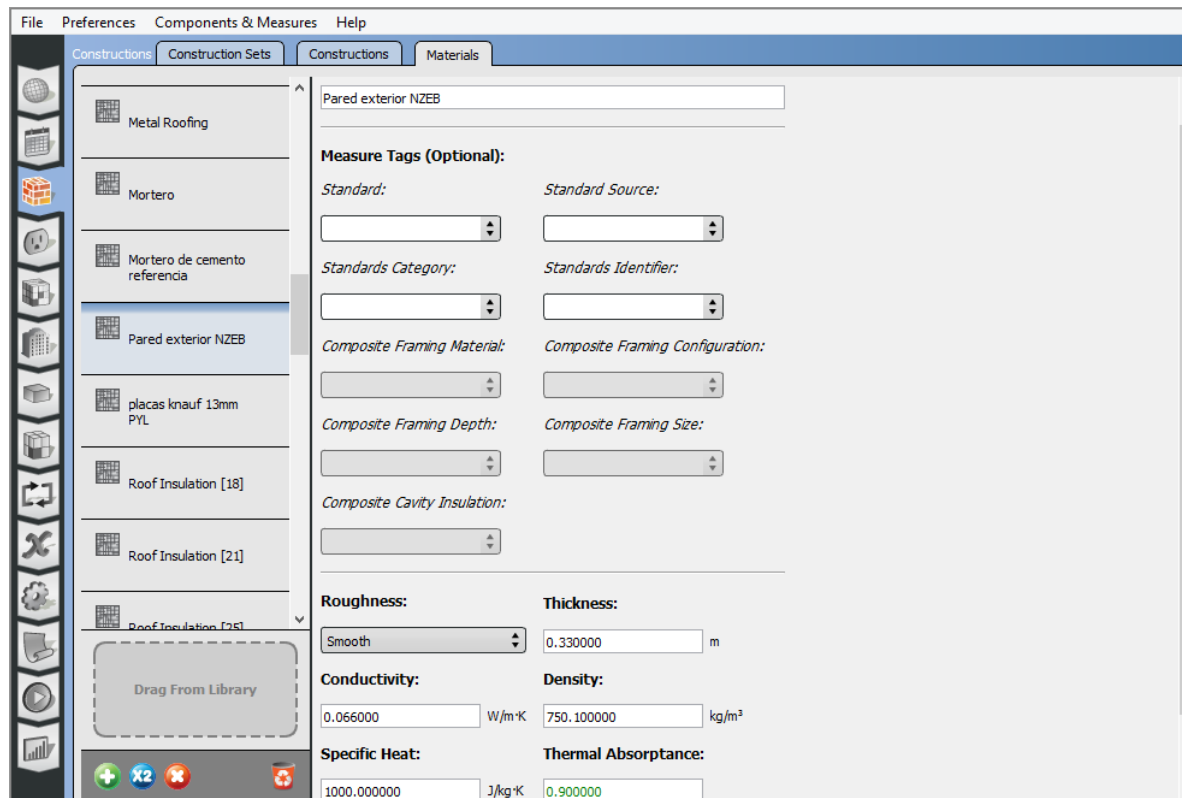
En el caso de las paredes interiores, estas ya han sido creadas anteriormente, de forma que esta construcción está guardada en **My model**, y se puede aprovechar sin tener que crearlo de nuevo, ya que este nuevo archivo .OSM se ha creado a partir del fichero de simulación de CTE .OSM, por lo que todas las acciones están guardadas. Ya que todos los elementos están guardados, para insertar los nuevos valores de transmitancia en los elementos de la envolvente sencillamente bastará con modificar los valores de la conductividad con los nuevos valores de transmitancia que se resumen en la Tabla 16.

Por ejemplo, las paredes exteriores han de tener como máximo una transmitancia de 0,2 W/m<sup>2</sup>·K para cumplir con la normativa de NZEB. Como se ha explicado en el apartado de *Simulación con CTE*, dado que no es posible definir un nuevo material mediante su transmitancia, se definirá mediante la conductividad, como se expresa en la ecuación Eq. 10 Como se comentó en el apartado de Simulación con CTE, el valor del espesor, rugosidad o densidad no alterará el valor de la transmitancia, por lo que se usará un valor de espesor del 0,33 m, correspondiente al valor del espesor de la pared exterior objeto.

Entonces, el valor de la conductividad para la pared exterior NZEB se calculará:

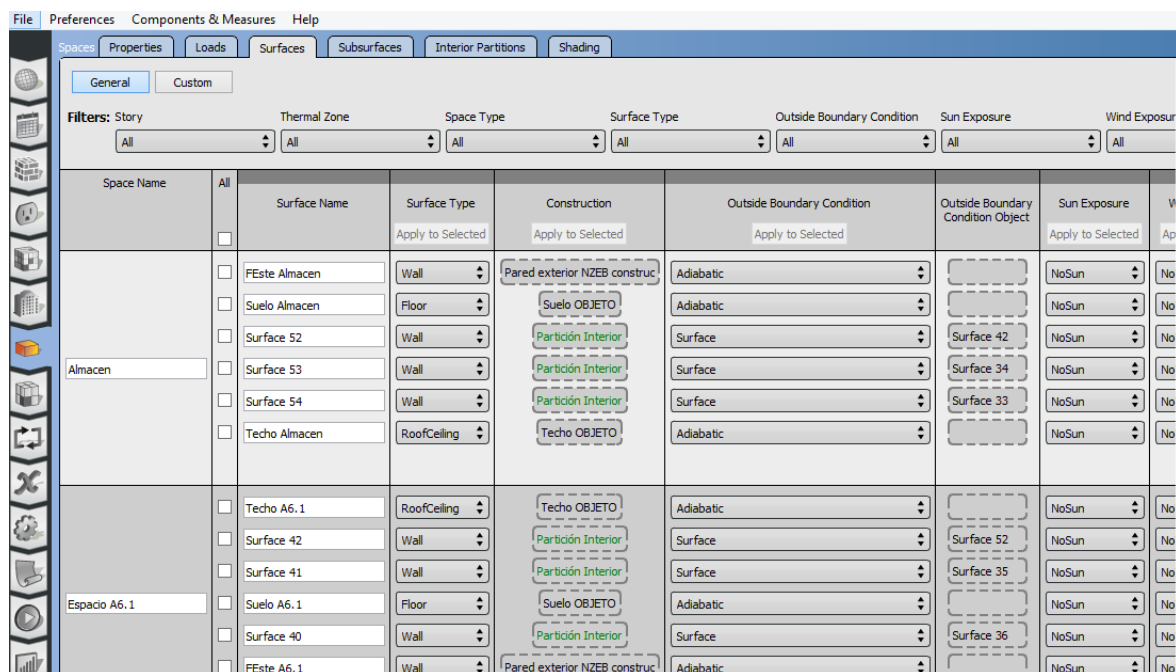
$$\lambda_{fachadaNZEB} = U_{fachadaNZEB} \cdot e_{fachada} = 0,2 \cdot 0,33 = 0,066 \text{ W/m}\cdot\text{K} \quad (\text{Eq. 10})$$

Este valor resultante de la Eq. 10 se introducirá en la conductividad del apartado **Materials**, con el nombre de *Pared exterior NZEB*, que, posteriormente se asignará a una nueva construcción con el mismo nombre y definido por ese único material, como se muestra en la Figura 114.



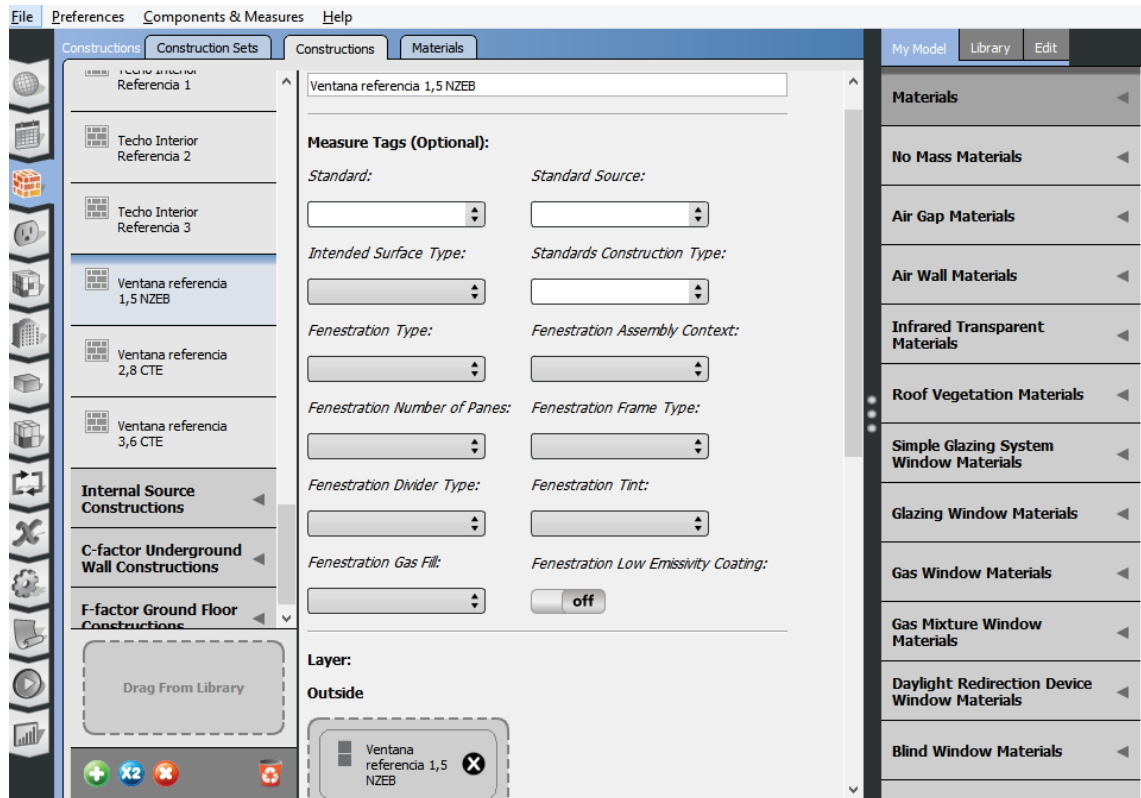
**Figura 114.** Introducción del material de pared exterior NZEB mediante valor de transmitancia

Cabe destacar que el valor de transmitancia que se ha introducido para calcular el valor de la conductividad será el que aparecerá en la tabla de resultados de **Envelope Summary** en la columna de **U-Factor with No Film**. Una vez se ha configurado la construcción de las superficies opacas mediante los valores de transmitancia, si se acude al apartado **Surfaces**, se observa que el esquema es similar al caso de la simulación con CTE, como se observa en la Figura 115, ya que las superficies geoméricamente son las mismas, no varía el contorno exterior, ni la exposición solar y de viento, ni el espesor de las capas, ni el número de superficies adiabáticas. Lo que se ha visto modificado es el valor de transmitancia.



**Figura 115.** Visión general de las construcciones, contornos exteriores, exposición solar y exposición de viento

En el caso de las ventanas de referencia, de lo contrario que sucede para el caso de simulación con CTE, no existe una tabla en vigor donde se indique el valor de transmitancia, ni tampoco ninguna clasificación en función del porcentaje de huecos o de la orientación en las fachadas. Por lo tanto, se usará un valor constante que ha de ser  $<1,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  para todas las ventanas, independientemente de la orientación. Se ha escogido el valor  $1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , por lo que el proceso será el mismo que para la realización de nuevas ventanas en la simulación anterior, es decir, se introducirá el valor de transmitancia desde el subapartado Simple **Glazing System Window Materials**.



**Figura 116.** Introducción de construcciones de ventanas de referencia NZEB

Quando se ha creado el material de ventanas, definido únicamente por su transmitancia, se creará una nueva construcción compuesto por ese material, con el nombre de *Ventana referencia 1,5 NZEB*.

Una vez se han creado las ventanas de referencia para el caso de NZEB, se modificará el conjunto de construcciones, agregando las nuevas construcciones de ventana a las categorías apropiadas. Como se ha aprovechado el fichero .OSM de la simulación con CTE, y esta tenía asignadas las ventanas de referencia del CTE en función de su orientación, se ha tenido que cambiar la construcción de las ventanas desde el sub-apartado **Subsurfaces**, asignando la misma construcción de ventana de referencia de  $1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  para todas las ventanas, como se muestra en la Figura 117.

Space Name	All	Subsurface Name	Parent Surface Name	Subsurface Type	Multiplier	Construction
Almacen	<input checked="" type="checkbox"/>					
Espacio A6.1	<input checked="" type="checkbox"/>					
Espacio A6.3	<input checked="" type="checkbox"/>	V1 FNorte A6.3	FNorte A6.3	OperableWindow	1.000000	Ventana referencia 1,5 NZEB
	<input checked="" type="checkbox"/>	V4 FNorte A6.3	FNorte A6.3	OperableWindow	1.000000	Ventana referencia 1,5 NZEB
	<input checked="" type="checkbox"/>	V2 FNorte A6.3	FNorte A6.3	OperableWindow	1.000000	Ventana referencia 1,5 NZEB
	<input checked="" type="checkbox"/>	V5 FNorte A6.3	FNorte A6.3	OperableWindow	1.000000	Ventana referencia 1,5 NZEB
	<input checked="" type="checkbox"/>	V3 FNorte A6.3	FNorte A6.3	OperableWindow	1.000000	Ventana referencia 1,5 NZEB
	<input checked="" type="checkbox"/>	V1 FEste A6.3	FEste A6.3	OperableWindow	1.000000	Ventana referencia 1,5 NZEB
	<input checked="" type="checkbox"/>	V1 FEste A6.3 1	FEste A6.3	OperableWindow	1.000000	Ventana referencia 1,5 NZEB
Espacio A6.4	<input checked="" type="checkbox"/>	V1 FEste A6.3 2	FEste A6.3	OperableWindow	1.000000	Ventana referencia 1,5 NZEB
	<input checked="" type="checkbox"/>	V3 FOeste A6.4	FOeste A6.4	OperableWindow	1.000000	Ventana referencia 1,5 NZEB
	<input checked="" type="checkbox"/>	V5 FOeste A6.4	FOeste A6.4	OperableWindow	1.000000	Ventana referencia 1,5 NZEB

Figura 117. Visión general de las subsuperficies y sus construcciones

## 9.6. Resultados NZEB

Antes de iniciar el proceso, se dedujo que, si los resultados de la simulación con CTE se supervisaron y se resolvieron los errores correspondientes, entonces esta simulación teóricamente no debería contener errores, ya que el fichero ha sido importado mediante el fichero .OSM previamente creado de la simulación CTE, y los cambios que se han producido de un fichero a otro no son significativos. Y efectivamente, al proceder a simular el modelo energético no se obtuvo ningún error de carácter grave, y los avisos fueron causados por elementos inutilizados.

De igual modo que en el apartado de *Resultados CTE*, se va a presentar una serie de resultados y gráficos más destacados.

### 9.6.1. Indicadores de consumo

Del apartado **Annual Overview** de los resultados de Openstudio se han recopilado los valores de consumo anuales, en kwh y en valores porcentuales, mostrados en la Figura 118 de forma más gráfica y visual, y en la Tabla 17, con los datos alistados en una tabla.

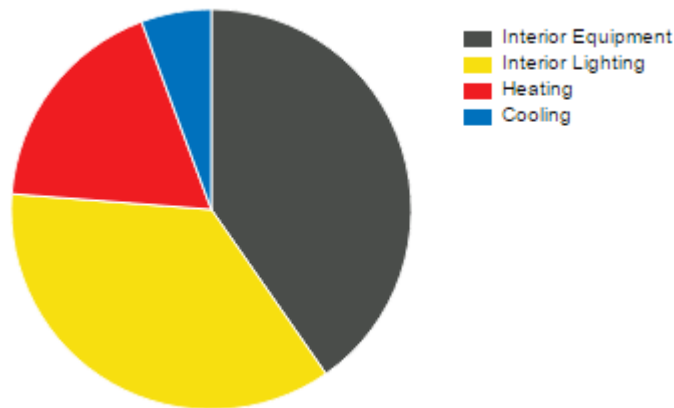
En este caso se puede comprobar que mediante los valores de transmitancia de NZEB, el consumo de calefacción se ha reducido de forma considerable, quedando en el tercer puesto en la lista de máximos consumos. Esta brusca reducción es debido a que, al no haber tantas pérdidas térmicas



del interior del edificio hacia el exterior a través de la envolvente, la cantidad de calor que se ha de aportar es mucho menor, es decir, la temperatura se mantiene cálida. Por lo tanto, el nuevo elemento de más consumo son los equipos, con un porcentaje del 40% frente al total anual. Por último, se encuentran los consumos más bajos pertenecientes a la iluminación y la refrigeración, este último supone el menor de los consumos, debido a las pocas horas de necesidad frigorífica.

	Consumo (kWh)	Porcentaje (%)
<b>Calefacción</b>	2580,49	18
<b>Refrigeración</b>	805,65	6
<b>Iluminación</b>	5113,79	36
<b>Equipos</b>	5786,10	40

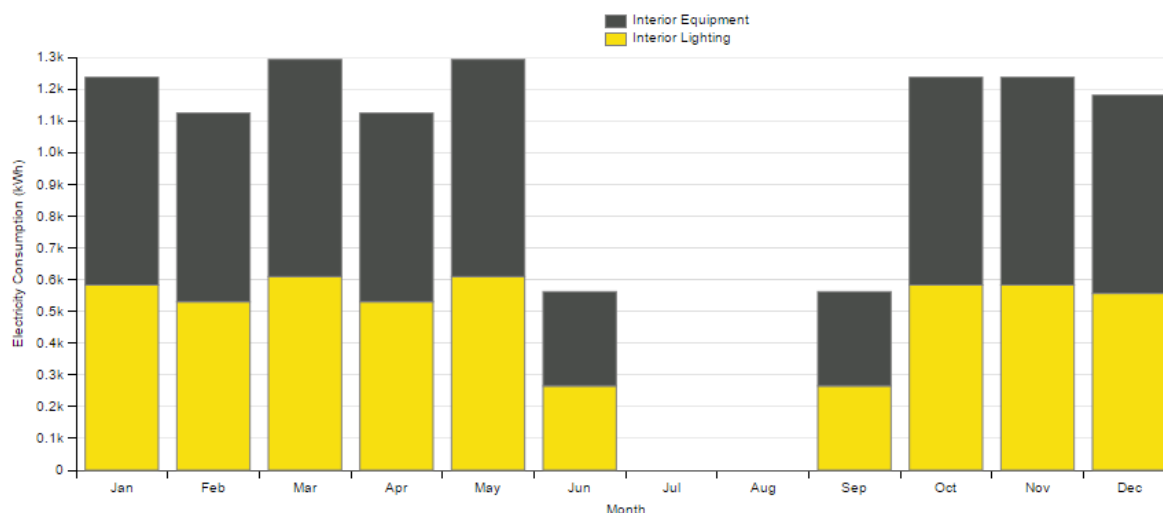
**Tabla 17.** Listado de consumos anuales



**Figura 118.** Sectorización de uso anual de energía

### 9.6.2. Consumo eléctrico

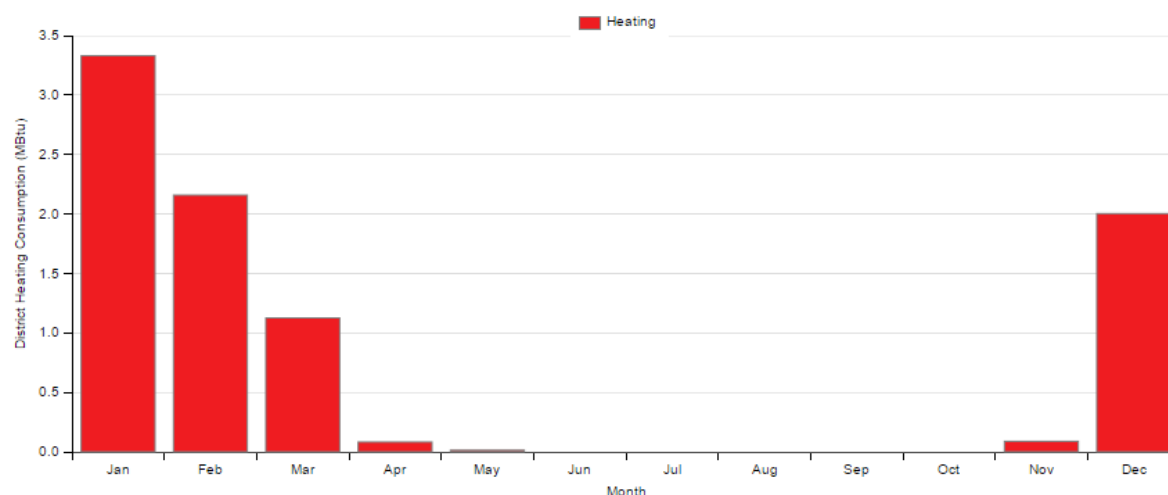
El gráfico mensual de consumo de iluminación interior y equipos eléctricos se muestra en la Figura 119. El consumo se mantiene estable durante el año, excepto en los meses de verano. En Junio y Setiembre los valores se reducen a la mitad debido a que son meses de finalización y iniciación de trimestres antes y después de verano. Durante los demás meses, el consumo se encuentra comprendido entre valores de 500-600 kWh al mes para el caso de electricidad y de 600 kWh para los equipos eléctricos. En la gráfica se muestra que durante los meses de Julio y Agosto no existe ningún tipo de consumo, debido a que en estos meses se considera que el edificio está vacío, sin ninguna carga interna.



**Figura 119.** Gráfico consumo mensual de iluminación interior y equipos

### 9.6.3. Consumo de calefacción y refrigeración

En este caso, el período de calefacción está comprendido entre los meses de Noviembre y Mayo, cuyo consumo, (en MBTU, hay que el gráfico es resultado del informe de Openstudio y son las unidades que usa), va en aumento conforme más cerca está de los meses de Diciembre y Enero, como se muestra en la Figura 120. El valor pico de calefacción se encuentra en el mes de Enero, con un consumo de 975,92 kWh. Durante los meses comprendidos entre Junio y Octubre se observa que la demanda de calor es nula.



**Figura 120.** Gráfico del consumo mensual de calefacción

Usualmente, cuando no hay demanda de calor suele haber demanda de frío. La demanda de frío tiene comienzo en Mayo y finaliza en Noviembre. Se ha de tener en cuenta que durante los meses de Julio y Agosto se considera que no hay ningún tipo de carga interna, ya que la universidad permanece cerrada por vacaciones de verano. Los máximos valores de consumo por refrigeración están en los meses de Junio y Setiembre, obteniendo el valor pico de 310,65 kWh.

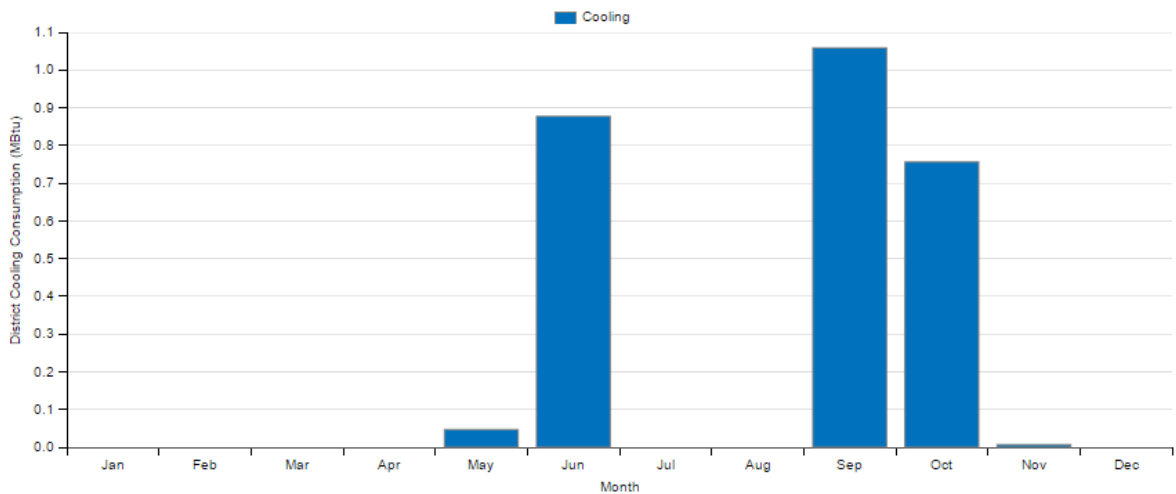


Figura 121. Gráfico del consumo mensual de refrigeración

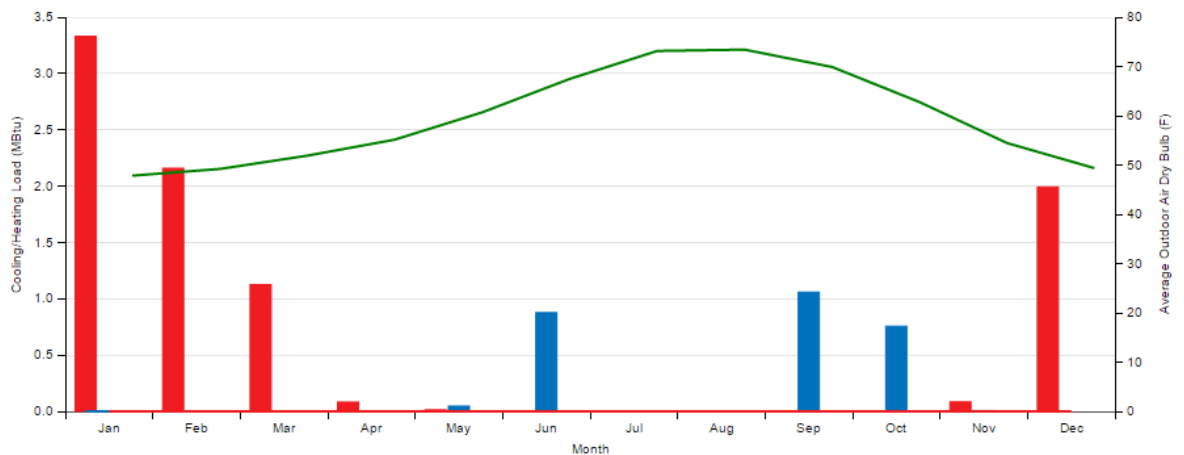


Figura 122. Gráfica del consumo de calefacción, refrigeración y temperatura de bulbo seco mensuales

#### 9.6.4. Valores de transmitancias

Una vez comprobado que no hay errores, en el apartado de **Envelope Summary** se comprueba que los valores de transmitancia en superficies opacas y huecos son las esperadas, es decir, de  $0,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  para superficies exteriores y de  $1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  para huecos, desde las columnas de **U-Factor no Film**, como se muestra en la Figura 123 y Figura 124.

File Preferences Components & Measures Help

Results Summary

Reports: EnergyPlus Results Refresh Open ResultsViewer for Detailed Reports

**Opaque Exterior**

	Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m <sup>2</sup> -K]	U-Factor no Film [W/m <sup>2</sup> -K]	Gross Area [m <sup>2</sup> ]	Net Area [m <sup>2</sup> ]	Azimuth [deg]	Tilt [deg]	Cardinal Direction
FESTE A6.8	PARED EXTERIOR NZEB CONSTRUCCIÀ fA²N	0.30	0.194	0.200	16.30	10.09	90.00	90.00	E
FSUR A6.8	PARED EXTERIOR NZEB CONSTRUCCIÀ fA²N	0.30	0.194	0.200	12.04	7.30	180.00	90.00	S
FESTE A6.3	PARED EXTERIOR NZEB CONSTRUCCIÀ fA²N	0.30	0.194	0.200	14.76	10.01	90.00	90.00	E
FNORTE A6.3	PARED EXTERIOR NZEB CONSTRUCCIÀ fA²N	0.30	0.194	0.200	20.08	12.17	0.00	90.00	N
FNORTE A6.4	PARED EXTERIOR NZEB CONSTRUCCIÀ fA²N	0.30	0.194	0.200	32.34	19.69	0.00	90.00	N
FOESTE A6.4	PARED EXTERIOR NZEB CONSTRUCCIÀ fA²N	0.30	0.194	0.200	24.33	14.85	270.00	90.00	W
FOESTE A6.5	PARED EXTERIOR NZEB CONSTRUCCIÀ fA²N	0.30	0.194	0.200	20.22	12.31	270.00	90.00	W
FOESTE A6.6	PARED EXTERIOR NZEB CONSTRUCCIÀ fA²N	0.30	0.194	0.200	16.07	9.75	270.00	90.00	W
FOESTE A6.7	PARED EXTERIOR NZEB CONSTRUCCIÀ fA²N	0.30	0.194	0.200	16.30	9.97	270.00	90.00	W
FSUR A6.7	PARED EXTERIOR NZEB CONSTRUCCIÀ fA²N	0.30	0.194	0.200	48.58	29.61	180.00	90.00	S

Figura 123. Resultados de transmitancias térmicas para superficies opacas

File Preferences Components & Measures Help

Results Summary

Reports: EnergyPlus Results Refresh Open ResultsViewer for Detailed Reports

**Exterior Fenestration**

	Construction	Glass Area [m <sup>2</sup> ]	Frame Area [m <sup>2</sup> ]	Divider Area [m <sup>2</sup> ]	Area of One Opening [m <sup>2</sup> ]	Area of Multiplied Openings [m <sup>2</sup> ]	Glass U-Factor [W/m <sup>2</sup> -K]	Glass SHGC	Glass Visible Transmittance	Frame Conductance [W/m <sup>2</sup> -K]	Divider Conductance [W/m <sup>2</sup> -K]	Shade Control	Parent Surface	Azimuth [deg]
V1 FESTE A6.8	VENTANA REFERENCIA 1s NZEB	1.58	0.00	0.00	1.58	1.58	1.500	0.103	0.041			No	FESTE A6.8	90
V1 FESTE A6.8.1	VENTANA REFERENCIA 1s NZEB	1.58	0.00	0.00	1.58	1.58	1.500	0.103	0.041			No	FESTE A6.8	90
V1 FESTE A6.8.2	VENTANA REFERENCIA 1s NZEB	1.52	0.00	0.00	1.52	1.52	1.500	0.103	0.041			No	FESTE A6.8	90
V1 FESTE A6.8.3	VENTANA REFERENCIA 1s NZEB	1.52	0.00	0.00	1.52	1.52	1.500	0.103	0.041			No	FESTE A6.8	90
V1 FSUD A6.8	VENTANA REFERENCIA 1s NZEB	1.58	0.00	0.00	1.58	1.58	1.500	0.103	0.041			No	FSUR A6.8	180
V2 FSUD A6.8	VENTANA REFERENCIA 1s NZEB	1.58	0.00	0.00	1.58	1.58	1.500	0.103	0.041			No	FSUR A6.8	180

Figura 124. Resultados de transmitancias térmicas para huecos

## 10. Estudio edificio objeto

### 10.1. Introducción

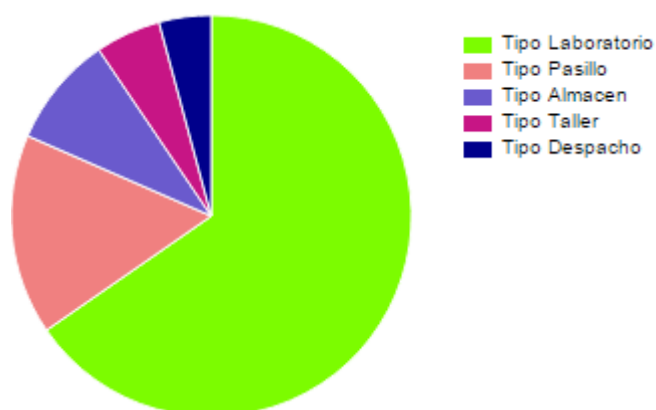
En este apartado el objetivo es generar el modelo objeto mediante los valores reales de su construcción. Para ello, se ha de conocer cada uno de los materiales que componen los cerramientos del edificio, definidos anteriormente en el apartado 7.4 de *Descripción constructiva*. Las características internas del edificio son las mismas que las definidas en los apartados de *Descripción de horarios* y *Descripción de cargas internas* del apartado 7, utilizadas también en las simulaciones anteriores, ya que para realizar la simulación de estos se requerían los valores reales de cargas internas, y estos parámetros se mantienen constantes independientemente de la construcción. La geometría es la misma que en todas las simulaciones, excepto por algunos elementos de la envolvente que se han tenido que añadir. Por lo tanto, en este caso, se añadirán los objetos de sombra o elementos de la envolvente que no se requerían en simulaciones anteriores, y se diseñará ateniendo los materiales reales de cada construcción.

Posteriormente, se realizará la simulación, obteniendo nuevos resultados sobre consumos energéticos, cargas y transferencias térmicas, que se compararán con los resultados obtenidos mediante los valores de la normativa CTE y NZEB.

### 10.2. Simulación objeto

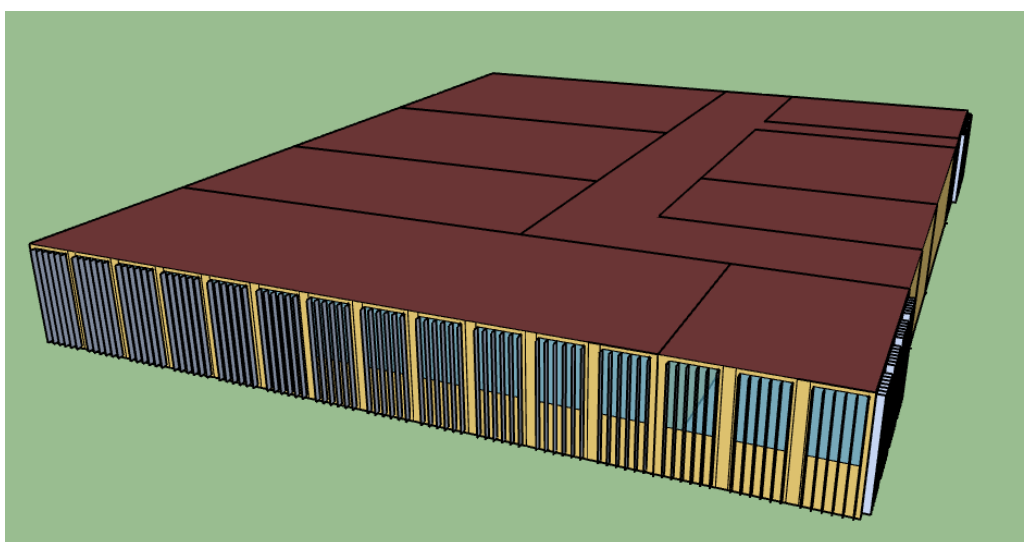
En las Figura 126 y Figura 127 se muestra el modelado geométrico de la planta 6 en Sketchup desde la vista frontal y la vista posterior respectivamente. Se visualiza en esas capturas que las lamas están creadas mediante espacios de sombreado, ya que proporcionan una cierta sombra y tienen un control de sombreado para exposiciones solares elevadas. Las ventanas son todas de la misma dimensión, excepto las ventanas de la fachada norte del pasillo, y están separadas por columnas, representadas en cada fachada como si fuesen superficies con distintas construcciones a las paredes exteriores.

La numeración de todos los tipos espacios es la misma que en las simulaciones anteriores:

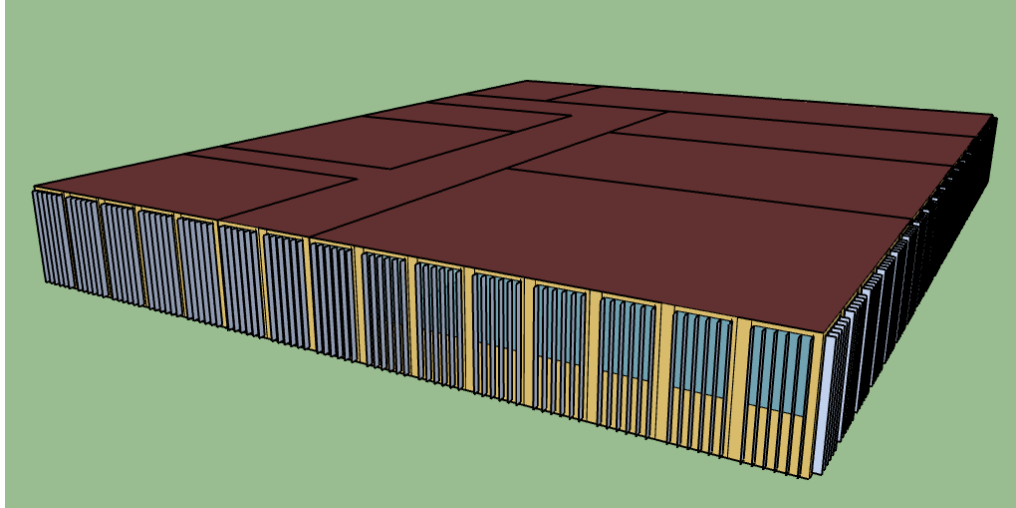


**Figura 125.** Sectorización de tipos de espacio del modelo

- Tipos de espacio
- **Laboratorio:** Horarios laboratorio, Carga iluminación y equipos laboratorio, zona térmica laboratorio construcción real.
  - **Almacén:** Horarios almacén, carga iluminación almacén, zona térmica almacén, construcción almacén.
  - **Despacho:** Horarios despacho, carga iluminación y equipos despacho, zona térmica despacho, construcción real
  - **Pasillo:** Horarios pasillo, carga iluminación pasillo, zona térmica pasillo, construcción real
  - **Taller:** Horario taller, carga iluminación y equipos taller, zona térmica taller, construcción real.



**Figura 126.** Vista frontal planta 6



**Figura 127.** Vista posterior planta 6

Para introducir todos los materiales que componen las diferentes construcciones del edificio es necesario conocer las propiedades de densidad, conductividad y calor específico de cada uno. Todos esos valores se resumen en la Tabla 18, han sido hallados en algunas fichas técnicas disponibles y otros valores que no se han podido encontrar se han escogido de la tabla de los materiales del Código Técnico de Edificación (CTE), donde se exponen los valores normalizados de los elementos constructivos.

Producto	P kg/m <sup>3</sup>	$\Lambda$ W/m·K	c <sub>p</sub> J/kg·K
Yeso laminado	750 ≤ ρ ≤ 900	0,25	1000
Lana mineral	126 ≤ ρ ≤ 160	0,032	800
Aluminio	2700	230	880
Ladrillo	770	0,35	1000
Terrazo	2500	2,3	1000
Mortero	1450	0,8	1000
Poliestireno expandido	1200	0,035	1800
Hormigón	2500	2,5	1000

**Tabla 18.** Propiedades de los materiales de construcción  
Fuente: Fichas técnicas productos y catálogo de materiales CTE

Con los datos de los elementos constructivos resumidos en la Tabla 18, se podrán crear desde cero todos los materiales de cada construcción. En la aplicación Opensudio, para crear una nueva construcción, es necesario ordenar los materiales que lo conforman desde la capa exterior hacia la interior. La manera en que se ordenarán los materiales en la aplicación Openstudio se presenta en la Tabla 19 en función de si se trata de particiones interiores, paredes exteriores, suelos/techo o huecos.

		Particiones interiores	Paredes exteriores	Huecos	Suelo/Techo
Capa	Exterior	-Yeso laminado 10<d<18mm	-Panel sándwich	-Vidrio 8 mm	-Placa PYL 13 mm
	Interior	-Lana mineral 48<d<90mm	-Ladrillo 0,27 m	-Gas argón 10 mm	-Cámara aire 50 mm
		-Yeso laminado 10<d<18mm	-Placas PYL 30mm	-Vidrio 10 mm	-Hormigón 370 mm
					-Mortero 29,9 mm
					-Placas terrazo 40 mm

**Tabla 19.** Lista de construcciones por orden de capas



Una vez se hayan creado los materiales y formado las construcciones, se atribuyen dichas construcciones a las superficies correspondientes. Las superficies de suelo y techo recibirán la construcción con nombre *suelo objeto* y *techo objeto* respectivamente, teniendo en cuenta que estas superficies no están en contacto exterior, sino que están en contacto con superficies adyacentes propias de otras plantas, por lo que dichas superficies son del tipo adiabáticas y no hay transferencia de calor en ellas. Las superficies exteriores tendrán la construcción de las paredes exteriores de la Tabla 19, con el nombre de paredes exteriores objeto. En la Figura 128 se muestra de forma general los diferentes espacios, superficies sus construcciones, indicando las condiciones exteriores, la exposición solar y exposición de viento.

File Preferences Components & Measures Help									
Spaces Properties Loads Surfaces Subsurfaces Interior Partitions Shading									
Space Name	All	Surface Name	Surface Type	Construction	Outside Boundary Condition	Outside Boundary Condition Object	Sun Exposure	Wind Exposure	
Almacen	<input type="checkbox"/>	Surface 54	Wall	Partición Interior	Surface	Surface 33	NoSun	NoWind	
	<input type="checkbox"/>	Suelo Almacen	Floor	Suelo OBJETO	Adiabatic		NoSun	NoWind	
	<input type="checkbox"/>	Techo Almacen	Roof/Ceiling	Techo OBJETO	Adiabatic		NoSun	NoWind	
	<input type="checkbox"/>	FEste Almacen	Wall	Paredes exteriores OBJETO	Adiabatic		NoSun	NoWind	
	<input type="checkbox"/>	Surface 53	Wall	Partición Interior	Surface	Surface 34	NoSun	NoWind	
	<input type="checkbox"/>	Surface 52	Wall	Partición Interior	Surface	Surface 42	NoSun	NoWind	
Espacio A6.1	<input type="checkbox"/>	Techo A6.1	Roof/Ceiling	Techo OBJETO	Adiabatic		NoSun	NoWind	
	<input type="checkbox"/>	Surface 42	Wall	Partición Interior	Surface	Surface 52	NoSun	NoWind	
	<input type="checkbox"/>	Surface 41	Wall	Partición Interior	Surface	Surface 35	NoSun	NoWind	
	<input type="checkbox"/>	Suelo A6.1	Floor	Suelo OBJETO	Adiabatic		NoSun	NoWind	
	<input type="checkbox"/>	FEste A6.1	Wall	Paredes exteriores OBJETO	Adiabatic		NoSun	NoWind	
	<input type="checkbox"/>	Surface 40	Wall	Partición Interior	Surface	Surface 36	NoSun	NoWind	
	<input type="checkbox"/>	FEste A6.3	Wall	Paredes exteriores OBJETO	Outdoors		SunExposed	WindExposed	
	<input type="checkbox"/>	Suelo A6.3	Floor	Suelo OBJETO	Adiabatic		NoSun	NoWind	

Figura 128. Asignación de construcciones a las superficies

En el caso de las ventanas, estas adquirirán la construcción que se indica en la Tabla 19, recibiendo el nombre de *ventanas objeto*, como se muestra en la Figura 129. Esta construcción solo integra la parte de cristal de la ventana, excluyendo marcos. Los marcos se van a inscribir en la pestaña **Frame and divider**, donde se indicará el valor de amplitud del marco, proyecciones interiores y exteriores, y conductancia del mismo.

File Preferences Components & Measures Help							
Spaces Properties Loads Surfaces Subsurfaces Interior Partitions Shading							
Space Name	All	Subsurface Name	Parent Surface Name	Subsurface Type Apply to Selected	Multiplier Apply to Selected	Construction Apply to Selected	Outside Boundary Condition Object
Almacen	<input type="checkbox"/>						
Espacio A6.1	<input type="checkbox"/>						
Espacio A6.3	<input type="checkbox"/>	V1 FEste A6.3 1	FEste A6.3	OperableWindow	1.000000	Ventanas OBJETO	
	<input type="checkbox"/>	V5 FNorte A6.3	FNorte A6.3	OperableWindow	1.000000	Ventanas OBJETO	
	<input type="checkbox"/>	V4 FNorte A6.3	FNorte A6.3 7	OperableWindow	1.000000	Ventanas OBJETO	
	<input type="checkbox"/>	V1 FEste A6.3 2	FEste A6.3 3	OperableWindow	1.000000	Ventanas OBJETO	
	<input type="checkbox"/>	V1 FNorte A6.3	FNorte A6.3 1	OperableWindow	1.000000	Ventanas OBJETO	
	<input type="checkbox"/>	V2 FNorte A6.3	FNorte A6.3 3	OperableWindow	1.000000	Ventanas OBJETO	
	<input type="checkbox"/>	V3 FNorte A6.3	FNorte A6.3 5	OperableWindow	1.000000	Ventanas OBJETO	
	<input type="checkbox"/>	V1 FEste A6.3	FEste A6.3 1	OperableWindow	1.000000	Ventanas OBJETO	
	<input type="checkbox"/>	V8 FNorte A6.4	FNorte A6.4	OperableWindow	1.000000	Ventanas OBJETO	
	<input type="checkbox"/>	V6 FOeste A6.4	FOeste A6.4	OperableWindow	1.000000	Ventanas OBJETO	
	<input type="checkbox"/>	V1 FNorte A6.4	FNorte A6.4 2	OperableWindow	1.000000	Ventanas OBJETO	
	<input type="checkbox"/>	V6 FNorte A6.4	FNorte A6.4 12	OperableWindow	1.000000	Ventanas OBJETO	

Figura 129. Asignación de construcciones en ventanas

Por otro lado, las ventanas contienen una serie de lamas exteriores que proyectan sombras móviles. Se ha de configurar el sombreado que proyectan estas lamas mediante el control de sombreado. Las lamas fueron modeladas en Sketchup como **New shading surface group**, pero estas son móviles, de forma que cuando hay una cierta radiación solar es necesario modificar el ángulo de las mismas para evitar posibles deslumbramientos o molestias.

Para poder configurar un control de sombreado, primero se creó un nuevo material en la clase Shade **window material**, correspondiente a la lama inclinada un 30% del eje paralelo a la ventana. Seguidamente se creó un control de sombreado **Shading control 1** de tipo sombra exterior, con el material de sombreado creado de lama inclinada, con control de sombreado para casos donde la radiación alcanza un Setpoint de 100, controlado por un horario de uso anual previamente creado. Toda esta información se resume en la Figura 130, que corresponde a la pestaña de **Shading controls** de la aplicación Openstudio. El control de sombreado es aplicable para todas las ventanas.

Space Name	Subsurface Name	Parent Surface Name	Shading Control	Shading Type	Shading Control Type	Schedule Name
Almacen						
Espacio A6.1						
Espacio A6.3	V1 FEste A6.3 1	FEste A6.3	Shading Control 1	ExteriorShade	OnIfHighSolarOnWindow	Horario anual
	V5 FNorte A6.3	FNorte A6.3	Shading Control 1	ExteriorShade	OnIfHighSolarOnWindow	Horario anual
	V4 FNorte A6.3	FNorte A6.3 7	Shading Control 1	ExteriorShade	OnIfHighSolarOnWindow	Horario anual
	V1 FEste A6.3 2	FEste A6.3 3	Shading Control 1	ExteriorShade	OnIfHighSolarOnWindow	Horario anual
	V1 FNorte A6.3	FNorte A6.3 1	Shading Control 1	ExteriorShade	OnIfHighSolarOnWindow	Horario anual
	V2 FNorte A6.3	FNorte A6.3 3	Shading Control 1	ExteriorShade	OnIfHighSolarOnWindow	Horario anual
	V3 FNorte A6.3	FNorte A6.3 5	Shading Control 1	ExteriorShade	OnIfHighSolarOnWindow	Horario anual
	V1 FEste A6.3	FEste A6.3 1	Shading Control 1	ExteriorShade	OnIfHighSolarOnWindow	Horario anual
Espacio A6.4	V8 FNorte A6.4	FNorte A6.4	Shading Control 1	ExteriorShade	OnIfHighSolarOnWindow	Horario anual
	V6 FOeste A6.4	FOeste A6.4	Shading Control 1	ExteriorShade	OnIfHighSolarOnWindow	Horario anual
	V1 FNorte A6.4	FNorte A6.4 2	Shading Control 1	ExteriorShade	OnIfHighSolarOnWindow	Horario anual
	V6 FNorte A6.4	FNorte A6.4 12	Shading Control 1	ExteriorShade	OnIfHighSolarOnWindow	Horario anual

**Figura 130.** Asignación de control de sombreado a sombras móviles

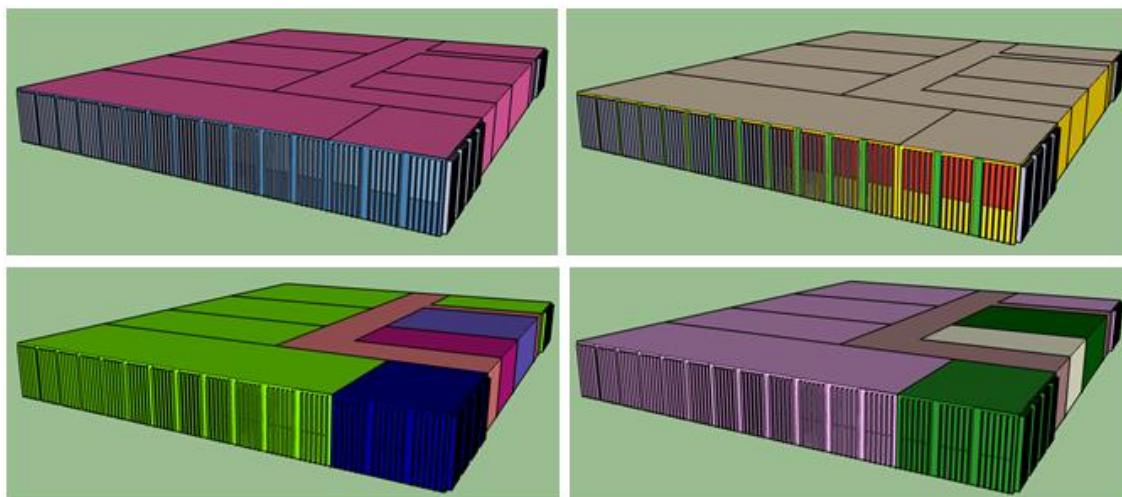
Una vez ya se ha finalizado el proceso de asignación de construcciones y configuración de sombreado, se puede acudir al entorno Sketchup para comprobar los distintos renderizados y verificar la correcta asignación de atributos. En la Figura 131 se observa el renderizado por condiciones de contorno, por construcción, tipos de espacio y zonas térmicas.

En el primer caso, el renderizado por condiciones de contorno, se observa que que las superficies en contacto exterior son de color azul, como es la fachada, las columnas y las ventanas. Los suelos, los techos y superficies en contacto con otras zonas no simuladas están de color lila, lo que indica que son superficies adiabáticas y se desconoce la información de su condición de contorno.

En el caso de renderizado por construcción, se comprueba que las ventanas son de color rojo, las columnas verdes y las paredes exteriores amarillas, suelos y techo blanco y rosa. Cada tipo de construcción adquiere un color diferente al aplicar este tipo de renderizado. Con esto se comprueba que todos los elementos con la misma construcción deben tener el mismo color asignado y todas las construcciones distintas deben tener colores diferentes.

La figura con renderizado por tipo de espacio indica que los elementos de tipo de espacio comunes tienen el mismo color, como se puede comprobar. El tipo de espacio más abundante es el tipo laboratorio, marcado en color verde. Los demás tipos de espacio tienen diferentes colores.

Por último, se observa que el renderizado por zona térmica es el esperado, ya que cada tipo de espacio va a tener su zona térmica.



**Figura 131.** Renderizado por condiciones de contorno, tipo de construcción, tipo de espacio y zona térmica

En el apartado **Spaces** se observa de forma resumida las historias, zonas térmicas, tipos de espacio, construcciones por defecto y horarios de cada espacio, como se observa en la Figura 132. En cambio, en la Figura 133 se visualiza de forma general las distintas cargas internas (personas, iluminación, equipos...) de cada espacio. Esta clasificación se mantiene constante durante todas las simulaciones realizadas, ya que las cargas internas no han variado en el procedimiento de simulación.

File Preferences Components & Measures Help							
Spaces Properties Loads Surfaces Subsurfaces Interior Partitions Shading							
General Airflow Custom							
Filters: Story Thermal Zone Space Type							
All All All							
Space Name	All	Story	Thermal Zone	Space Type	Default Construction Set	Default Schedule Set	Part of Total Floor Area
	<input type="checkbox"/>	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	
Almacen	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Thermal Zone: Almacen	Tipo Almacen	Planta 6 Construction Set	Almacen Schedule Set	<input checked="" type="checkbox"/>
Espacio A6.1	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Thermal Zone: Taller	Tipo Taller	Planta 6 Construction Set	Taller Schedule Set	<input checked="" type="checkbox"/>
Espacio A6.3	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Thermal Zone: Laboratorio	Tipo Laboratorio	Planta 6 Construction Set	Laboratorio Schedule Set	<input checked="" type="checkbox"/>
Espacio A6.4	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Thermal Zone: Laboratorio	Tipo Laboratorio	Planta 6 Construction Set	Laboratorio Schedule Set	<input checked="" type="checkbox"/>
Espacio A6.5	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Thermal Zone: Laboratorio	Tipo Laboratorio	Planta 6 Construction Set	Laboratorio Schedule Set	<input checked="" type="checkbox"/>
Espacio A6.6	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Thermal Zone: Laboratorio	Tipo Laboratorio	Planta 6 Construction Set	Laboratorio Schedule Set	<input checked="" type="checkbox"/>
Espacio A6.7	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Thermal Zone: Laboratorio	Tipo Laboratorio	Planta 6 Construction Set	Laboratorio Schedule Set	<input checked="" type="checkbox"/>
Espacio A6.8	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Thermal Zone: Despacho	Tipo Despacho	Planta 6 Construction Set	Despacho Schedule Set	<input checked="" type="checkbox"/>
Pasillo	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Thermal Zone: Pasillo	Tipo Pasillo	Planta 6 Construction Set	Pasillo Schedule Set	<input checked="" type="checkbox"/>

**Figura 132.** Información de los espacios en la pestaña Spaces

File Preferences Components & Measures Help						
Spaces Properties Loads Surfaces Subsurfaces Interior Partitions Shading						
Space Name	All	Load Name	Multiplier	Definition	Schedule	Activity Schedule (People Only)
	<input type="checkbox"/>		Apply to Selected		Apply to Selected	Apply to Selected
Almacen	<input type="checkbox"/>	People almacen	1.000000	Almacen people definition	Siempre 0	Actividad Almacen 0 W/perso
Espacio A6.1	<input type="checkbox"/>	People Taller	1.000000	Taller people definition	Ocupacion Taller	Actividad taller 150 W/person
	<input type="checkbox"/>	Lights Taller	1.000000	Taller Lights Definition	Iluminación Taller	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment Taller	1.000000	Taller Equipment Definition	Equipos Taller	
Espacio A6.3	<input type="checkbox"/>	People Laboratorio	1.000000	Laboratorio people definition	Ocupacion Laboratorio	Actividad laboratorios 160 W/
	<input type="checkbox"/>	Lights Laboratorio	1.000000	Laboratorio Lights Definition	Iluminación Laboratorio	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment Laboratorio	1.000000	Laboratorio Equipment Definition	Equipos Laboratorio	
	<input type="checkbox"/>	2,75 ACH	1.000000		Ocupacion Laboratorio	
Espacio A6.4	<input type="checkbox"/>	People Laboratorio	1.000000	Laboratorio people definition	Ocupacion Laboratorio	Actividad laboratorios 160 W/
	<input type="checkbox"/>	Lights Laboratorio	1.000000	Laboratorio Lights Definition	Iluminación Laboratorio	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment Laboratorio	1.000000	Laboratorio Equipment Definition	Equipos Laboratorio	
	<input type="checkbox"/>	2,75 ACH	1.000000		Ocupacion Laboratorio	

Figura 133. Información de las cargas internas del edificio por espacios

## 10.3. Resultados

Una vez se ha comprobado que todo está correcto y que no hay congruencias entre los valores insertados y observables, se procede a realizar la simulación del edificio.

Como para realizar este estudio no ha sido necesario modificar demasiado el contenido de Openstudio, ya que se ha aprovechado el fichero .OSM de la última simulación realizada con los valores NZEB, no se han registrado fallos, ya que los fallos más importantes se descubrieron y corrigieron en las últimas simulaciones.

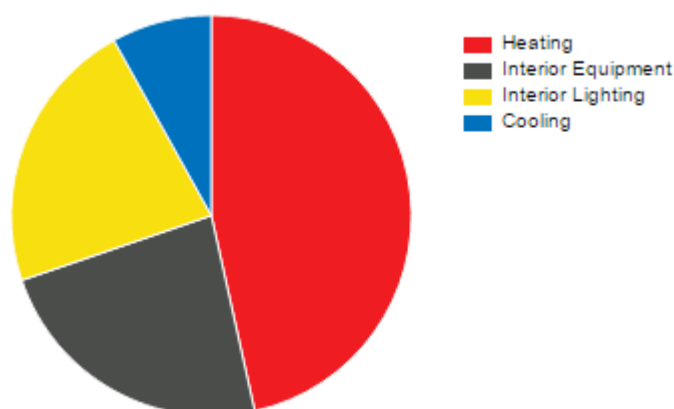
### 10.3.1. Indicadores de consumo

Como en las anteriores simulaciones, se obtiene los resultados de consumos anuales para calefacción, refrigeración, iluminación y equipos, como se muestra en la Tabla 20. En este caso, con las construcciones del edificio real e incluyendo las sombras y las columnas, el elemento de más consumo en la planta es la calefacción, con un consumo de 10739 kWh. En cambio, se observa que la refrigeración se ve ligeramente elevada respecto a otras simulaciones, mientras que la iluminación y los equipos se mantienen en el mismo nivel de consumo.

En la Figura 134 se visualiza de forma gráfica el comportamiento de los consumos, mostrando que el color rojo es el predominante respecto los demás colores, que representan cada consumo.

	Consumo (kWh)	Porcentaje (%)
Calefacción	10739	47
Refrigeración	1866,56	8
Iluminación	5113,79	22
Equipos	5786,10	23

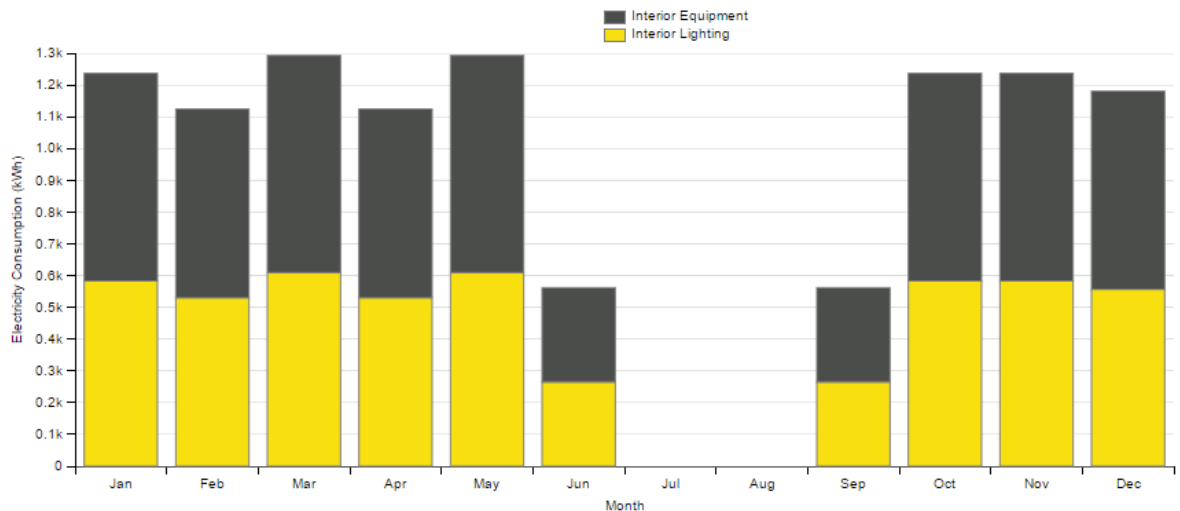
**Tabla 20.** Lista de valores de consumo y porcentaje



**Figura 134.** Sectorización de los consumos anuales

### 10.3.2. Consumo eléctrico

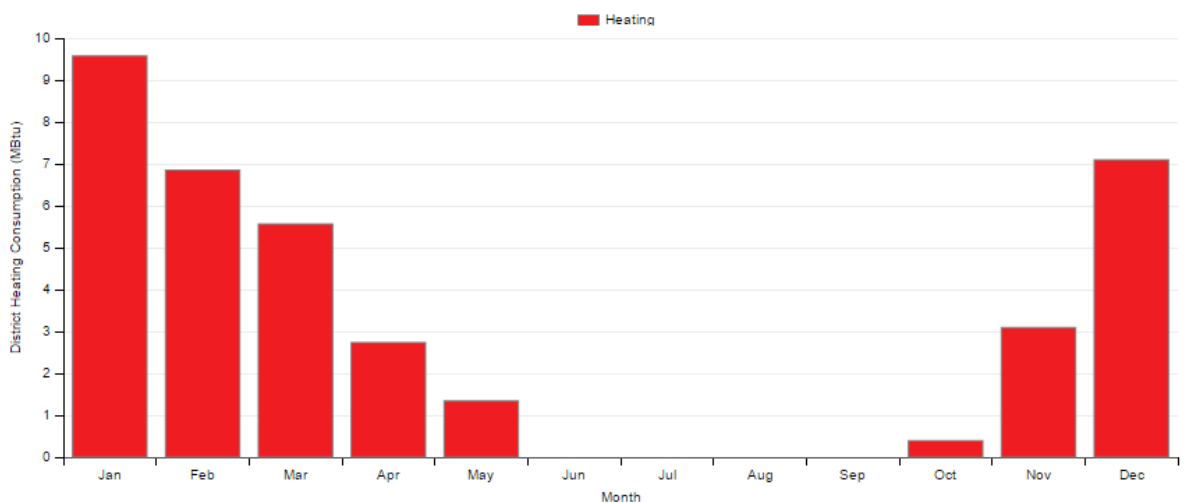
El gráfico mensual de consumo de iluminación interior para y equipos eléctricos de esta simulación se representa en la Figura 119. El consumo de iluminación y de equipos se mantiene estable durante los meses del año, exceptuando los meses de verano, Julio y Agosto, donde la universidad permanece cerrada. En Junio y Setiembre los valores se reducen a la mitad debido a que son meses de finalización e iniciación de cursos antes y después de verano. Los meses del año donde hay niveles de consumo, este se encuentra comprendido entre valores de 500-600 kWh al mes para el caso de electricidad y de aproximadamente 600 kWh para los equipos eléctricos. En este caso, el consumo de la iluminación y equipos es idéntico a las simulaciones con construcciones CTE y NZEB, ya que la carga interna permanece intacta durante los procesos de simulación.



**Figura 135.** Gráfico de los consumos mensuales de iluminación y equipos

### 10.3.3. Consumo de calefacción y refrigeración

En la simulación con los valores reales del edificio, se obtiene que la calefacción es el elemento de mayor consumo. En la Figura 136 se representan de forma gráfica las fluctuaciones mensuales del consumo. El consumo de calefacción va amentando conforme se acercan los meses de invierno, alcanzando el valor máximo de 2804,68 kWh en Enero. En cambio, en verano, durante Julio y Setiembre no se percibe ningún valor, al ser verano ya no es necesario.



**Figura 136.** Gráfica de los consumos mensuales por calefacción

Los resultados mensuales del consumo de frío se observan en la Figura 137. En ella se visualiza que únicamente durante tres meses se invertirá en frío, ya que en los meses de Julio y Agosto no hay consumo debido a la temporada de vacaciones. El pico de consumo de frío reside en el mes de Junio, donde se alcanza un valor de 562,69 kWh. En esta simulación el consumo de frío ha disminuido considerablemente respecto a las anteriores simulaciones.

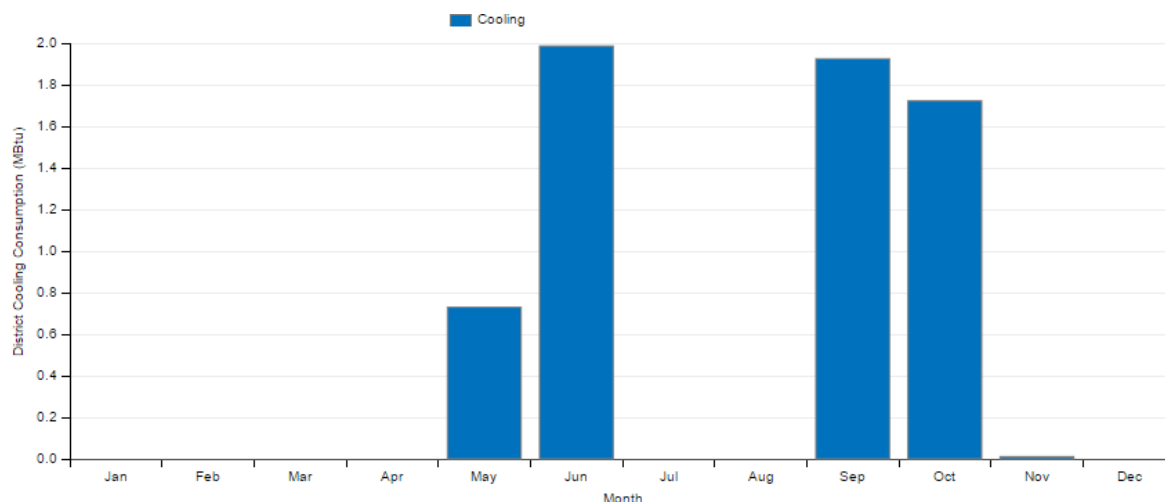


Figura 137. Gráfica de los consumos mensuales por refrigeración

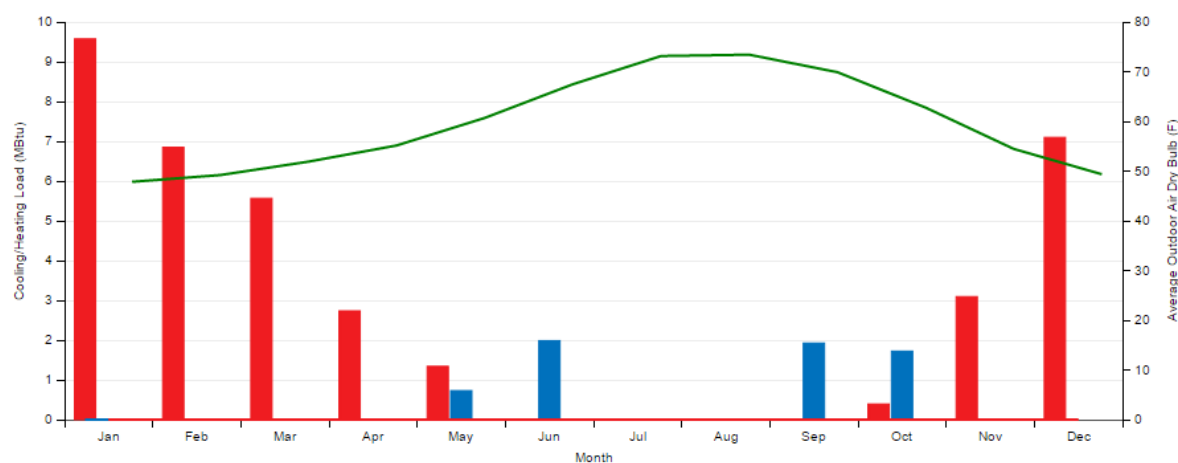


Figura 138. Gráfica de las cargas de calefacción, refrigeración y temperatura de bulbo seco mensuales

#### 10.3.4. Transmitancias

En los resultados de EnergyPlus de la simulación energética, se pueden observar los resultados de las transmitancias térmicas para superficies opacas y para huecos, en **Envelope summary**. En las Figura 139 y Figura 140 se muestran los valores resultantes.



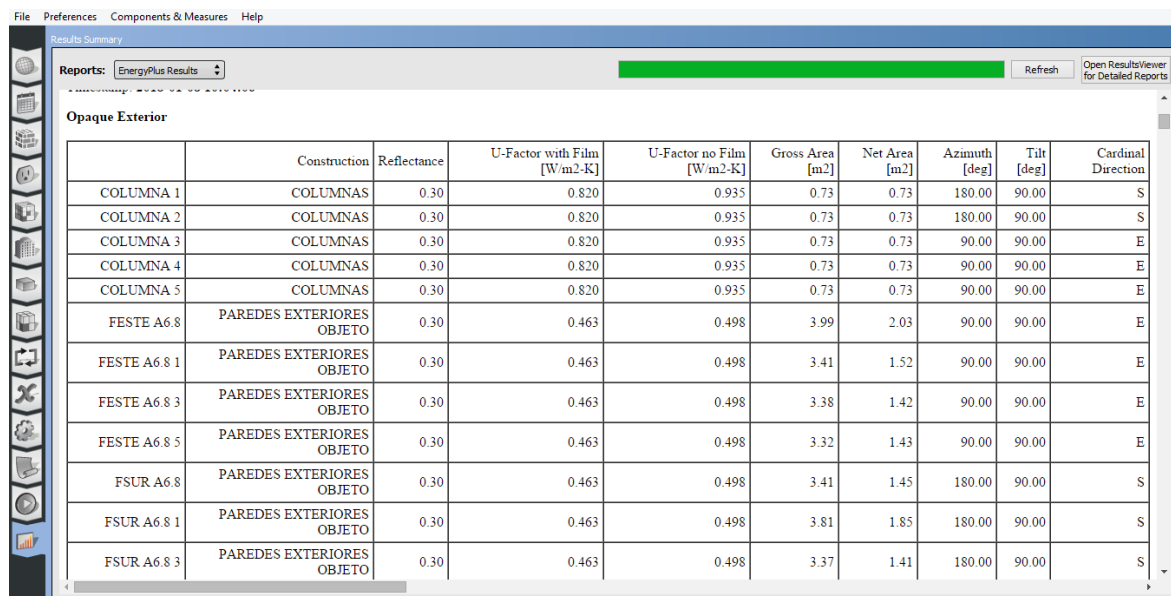


Figure 139 shows a screenshot of the EnergyPlus Results window, specifically the 'Opaque Exterior' table. The table lists various exterior surfaces and their thermal properties. The columns include Construction, Reflectance, U-Factor with Film [W/m<sup>2</sup>-K], U-Factor no Film [W/m<sup>2</sup>-K], Gross Area [m<sup>2</sup>], Net Area [m<sup>2</sup>], Azimuth [deg], Tilt [deg], and Cardinal Direction.

	Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m <sup>2</sup> -K]	U-Factor no Film [W/m <sup>2</sup> -K]	Gross Area [m <sup>2</sup> ]	Net Area [m <sup>2</sup> ]	Azimuth [deg]	Tilt [deg]	Cardinal Direction
COLUMNA 1	COLUMNAS	0.30	0.820	0.935	0.73	0.73	180.00	90.00	S
COLUMNA 2	COLUMNAS	0.30	0.820	0.935	0.73	0.73	180.00	90.00	S
COLUMNA 3	COLUMNAS	0.30	0.820	0.935	0.73	0.73	90.00	90.00	E
COLUMNA 4	COLUMNAS	0.30	0.820	0.935	0.73	0.73	90.00	90.00	E
COLUMNA 5	COLUMNAS	0.30	0.820	0.935	0.73	0.73	90.00	90.00	E
FESTE A6.8	PAREDES EXTERIORES OBJETO	0.30	0.463	0.498	3.99	2.03	90.00	90.00	E
FESTE A6.8.1	PAREDES EXTERIORES OBJETO	0.30	0.463	0.498	3.41	1.52	90.00	90.00	E
FESTE A6.8.3	PAREDES EXTERIORES OBJETO	0.30	0.463	0.498	3.38	1.42	90.00	90.00	E
FESTE A6.8.5	PAREDES EXTERIORES OBJETO	0.30	0.463	0.498	3.32	1.43	90.00	90.00	E
FSUR A6.8	PAREDES EXTERIORES OBJETO	0.30	0.463	0.498	3.41	1.45	180.00	90.00	S
FSUR A6.8.1	PAREDES EXTERIORES OBJETO	0.30	0.463	0.498	3.81	1.85	180.00	90.00	S
FSUR A6.8.3	PAREDES EXTERIORES OBJETO	0.30	0.463	0.498	3.37	1.41	180.00	90.00	S

Figura 139. Valores de transmitancias térmicas de superficies opacas

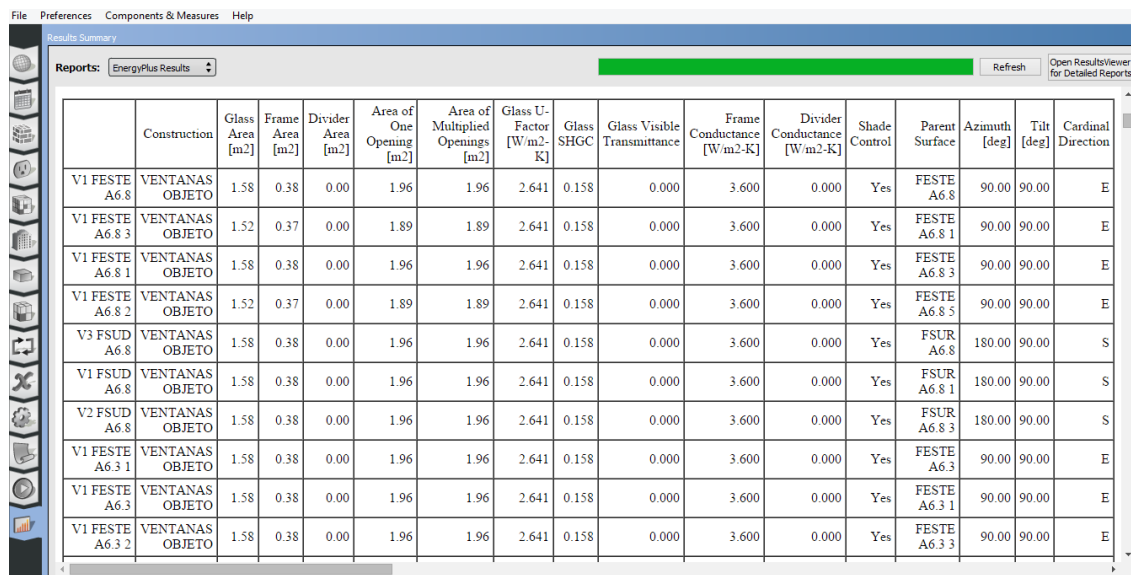


Figure 140 shows a screenshot of the EnergyPlus Results window, specifically the 'Huecos' table. The table lists various window and door openings and their thermal properties. The columns include Construction, Glass Area [m<sup>2</sup>], Frame Area [m<sup>2</sup>], Divider Area [m<sup>2</sup>], Area of One Opening [m<sup>2</sup>], Area of Multiplied Openings [m<sup>2</sup>], Glass U-Factor [W/m<sup>2</sup>-K], Glass SHGC, Glass Visible Transmittance, Frame Conductance [W/m<sup>2</sup>-K], Divider Conductance [W/m<sup>2</sup>-K], Shade Control, Parent Surface, Azimuth [deg], Tilt [deg], and Cardinal Direction.

	Construction	Glass Area [m <sup>2</sup> ]	Frame Area [m <sup>2</sup> ]	Divider Area [m <sup>2</sup> ]	Area of One Opening [m <sup>2</sup> ]	Area of Multiplied Openings [m <sup>2</sup> ]	Glass U-Factor [W/m <sup>2</sup> -K]	Glass SHGC	Glass Visible Transmittance	Frame Conductance [W/m <sup>2</sup> -K]	Divider Conductance [W/m <sup>2</sup> -K]	Shade Control	Parent Surface	Azimuth [deg]	Tilt [deg]	Cardinal Direction
V1 FESTE A6.8	VENTANAS OBJETO	1.58	0.38	0.00	1.96	1.96	2.641	0.158	0.000	3.600	0.000	Yes	FESTE A6.8	90.00	90.00	E
V1 FESTE A6.8.3	VENTANAS OBJETO	1.52	0.37	0.00	1.89	1.89	2.641	0.158	0.000	3.600	0.000	Yes	FESTE A6.8.1	90.00	90.00	E
V1 FESTE A6.8.1	VENTANAS OBJETO	1.58	0.38	0.00	1.96	1.96	2.641	0.158	0.000	3.600	0.000	Yes	FESTE A6.8.3	90.00	90.00	E
V1 FESTE A6.8.2	VENTANAS OBJETO	1.52	0.37	0.00	1.89	1.89	2.641	0.158	0.000	3.600	0.000	Yes	FESTE A6.8.5	90.00	90.00	E
V3 FSUD A6.8	VENTANAS OBJETO	1.58	0.38	0.00	1.96	1.96	2.641	0.158	0.000	3.600	0.000	Yes	FSUR A6.8	180.00	90.00	S
V1 FSUD A6.8	VENTANAS OBJETO	1.58	0.38	0.00	1.96	1.96	2.641	0.158	0.000	3.600	0.000	Yes	FSUR A6.8.1	180.00	90.00	S
V2 FSUD A6.8	VENTANAS OBJETO	1.58	0.38	0.00	1.96	1.96	2.641	0.158	0.000	3.600	0.000	Yes	FSUR A6.8.3	180.00	90.00	S
V1 FESTE A6.3.1	VENTANAS OBJETO	1.58	0.38	0.00	1.96	1.96	2.641	0.158	0.000	3.600	0.000	Yes	FESTE A6.3	90.00	90.00	E
V1 FESTE A6.3	VENTANAS OBJETO	1.58	0.38	0.00	1.96	1.96	2.641	0.158	0.000	3.600	0.000	Yes	FESTE A6.3.1	90.00	90.00	E
V1 FESTE A6.3.2	VENTANAS OBJETO	1.58	0.38	0.00	1.96	1.96	2.641	0.158	0.000	3.600	0.000	Yes	FESTE A6.3.3	90.00	90.00	E

Figura 140. Valores de transmitancias térmicas de huecos

En el modelado del edificio en Sketchup se ha diferenciado la construcción propia de la pared exterior de las columnas, debido a que no comparten la misma construcción. La repercusión de esta acción se refleja las tablas anteriores. En las tablas no se muestra el valor de transmitancia por el total de cada superficie, sino que se hace por cada superficie que la compone, por lo que se ha diferenciado transmitancia de columnas y de paredes exteriores.

Para poder comparar la transmitancia de la fachada del edificio real respecto a las simulaciones anteriormente realizadas, es necesario conocer el valor total de transmitancia para el conjunto de fachada, envolviendo columnas y paredes exteriores. Para conocer la transmitancia total, dado

que en los resultados de EnergyPlus aparecen cada una por separado, es necesario aplicar un cálculo para obtener el valor resultante total.

En la siguiente ecuación se muestra como obtener el valor total de la fachada para la simulación del edificio objeto:

$$U_{fachadaCTE} = \frac{A_1 \cdot U_1 + A_2 \cdot U_2}{A_1 + A_2} \quad (\text{Eq. 11})$$

Donde:

$A_1$ : Área correspondiente a la pared exterior, excluyendo columnas, en  $\text{m}^2$ .

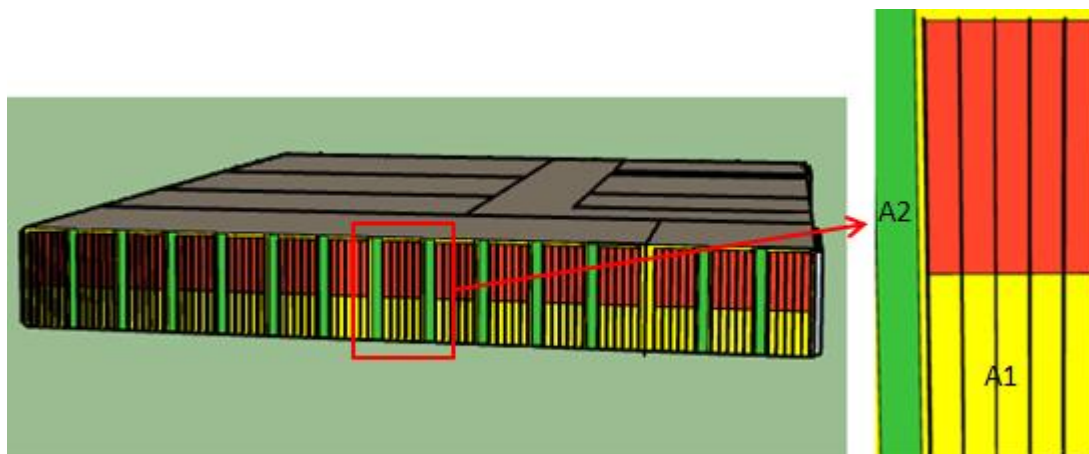
$A_2$ : Área correspondiente a la columna, en  $\text{m}^2$ .

$U_1$ : Transmitancia térmica propia del área  $A_1$ , en  $\text{m}^2$ .

$U_2$ : Transmitancia térmica propia del área  $A_2$ , en  $\text{m}^2$ .

$U_{fachadaCTE}$ : Transmitancia térmica total de la fachada, incluyendo columnas y paredes exteriores, en  $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ .

En la Figura 141 se observa de forma gráfica el bloque conjunto de columna y pared al que corresponde la ecuación para calcular el valor de la transmitancia total de la fachada. Como se indica, el área  $A_1$  corresponde a la superficie de color amarillo, mientras que el área  $A_2$  es la superficie expuesta en verde.



**Figura 141.** Superficies correspondientes al  $A_1$  y  $A_2$  en el modelo

Por lo tanto, mediante los valores de la tabla de resultados de EnergyPlus de **Envelope summary**, de la columna de transmitancias térmicas, se resuelve la ecuación:

$$U_{fachadaCTE} = \frac{A_1 \cdot U_1 + A_2 \cdot U_2}{A_1 + A_2} = \frac{1,3 \cdot 0,5 + 0,73 \cdot 0,94}{1,3 + 0,73} = 0,65 \quad (\text{Eq. 12})$$

Por lo tanto, el valor total de la transmitancia térmica en la fachada del edificio con las construcciones reales es de 0,65 W/m<sup>2</sup>·K.

## 11. Comparativa

Una vez se hayan realizado las tres simulaciones, se puede realizar el último paso, es decir, comparar los resultados obtenidos en cada estudio, identificar diferencias o similitudes y situar los valores obtenidos de la simulación objeto dentro del intervalo comprendido entre los valores más favorables de NZEB y los más desfavorables, los de CTE.

En la Figura 142 se muestran las tres gráficas de la sectorización de los consumos anuales en los espacios del edificio para la simulación realizada con CTE, caso real y NZEB. El orden de las gráficas está estratégicamente pensado, de forma que en ambos extremos quedan los casos opuestos, es decir, más o menos favorable, de forma que el caso real se ha de comparar y aproximar a uno de estos dos casos, intuyendo a qué normativa se puede asimilar.

Se puede comprobar por la gráfica del caso NZEB que, al imponer una transmitancia térmica de la fachada y de los huecos tan reducida, esto provoca una gran disminución del consumo de calefacción, ya que el calor se mantiene en las estancias sin apenas haber pérdidas internas hacia el exterior, con lo que, de forma paralela, el consumo de frío disminuye respecto a los demás casos. Esta disminución es causada por buen aislamiento térmico de la fachada, que impide la entrada de calor hacia el interior.

En el resultado de consumos de CTE, se observa el proceso contrario, ya que hay mucha más demanda calorífica que en el caso NZEB, debido a que la transmitancia es más elevada, lo que supone que hay más pérdidas por las fachadas, como podría suceder al incorporar elementos de escaso aislamiento térmico. Esto provoca que el consumo de frío aumente, porque la temperatura no se mantiene constante. Esta reacción se puede asemejar al caso real de consumo del edificio, es decir, la gráfica intermedia. En el caso de consumo real el consumo de calefacción es elevado, ya que hay distintas construcciones, las ventanas disponen de marcos, hay columnas incrustadas, y la transmitancia general de la envolvente es mayor y puede haber pérdidas energéticas debido a los puentes térmicos, sin olvidar que las lamas provocan sombra y disminuyen la radiación solar hacia el interior.

Se puede concluir que, cuando aumenta la demanda calorífica también lo hace la demanda frigorífica y cuanto más elevado es el valor de la transmitancia térmica, mayores pérdidas de calor habrá hacia el exterior y mayor facilidad al paso de calor por las paredes y huecos. Cuantas más pérdidas se producen en la envolvente, más calor se ha de aportar en el interior para compensar las pérdidas caloríficas, equilibrar la temperatura y llegar a la temperatura de consigna. Como se sabe de la termodinámica, el calor se traspasa de las zonas calientes hacia las frías, de forma que cuando hay una gran diferencia de temperatura entre dos puntos es fácil que haya convección energética y, para evitar este cese de energía se utilizan los aislantes con baja conductividad térmica.

En cuanto a consumos de iluminación y equipos, estos tienen los mismos valores en las tres simulaciones, ya que estas cargas internas no se han modificado durante los procesos de

simulación, por lo que no se conciben diferencias significativas entre los tres gráficos, por lo que el factor que hace variar los consumos entre las simulaciones es el cambio en las envolventes.

Como se ha comentado anteriormente, se supone que el caso más ideal en cuanto a eficiencia energética y ahorro de consumo es el caso de nZEB, donde hay una clara disminución de consumo de calefacción y frío. En la siguiente tabla se resume el ahorro energético que puede haber respecto el caso real y el nZEB. Se observa que para calefacción se produce un ahorro de 8158,51 kWh anuales, mientras que la refrigeración es de 1060,91 kWh. En iluminación y equipos no hay ahorro puesto que no hay variaciones de un estado a otro.

	Consumo objeto (kWh)	Consumo NZEB (kWh)	Ahorro (kWh)
<b>Calefacción</b>	10739	2580,49	8158,51
<b>Refrigeración</b>	1866,56	805,65	1060,91
<b>Iluminación</b>	5113,79	5113,79	0
<b>Equipos</b>	5786,10	5786,10	0

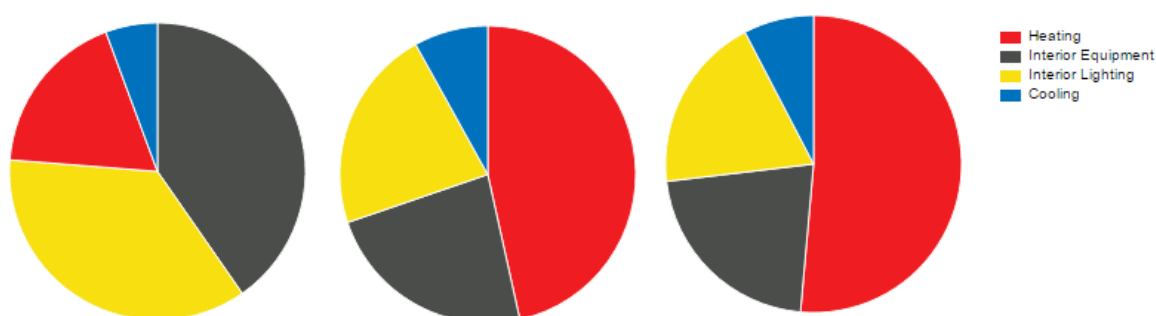
**Tabla 21.** Resumen de los consumos y ahorro energético del sistema real vs. nZEB

Por otro lado, se conocen los consumos del edificio objeto y el edificio según CTE. En la Tabla 22 se resumen estos valores y se obtiene el resultado del ahorro económico del sistema real frente al sistema CTE. Los resultados de ahorro del edificio objeto respecto al edificio CTE se han obtenido en negativo, es decir, no se produce ningún ahorro, ya que usualmente los consumos del edificio objeto son menores que el edificio según CTE. La sección de iluminación y equipos permanece intacta ya que no se han producido modificaciones en ninguna simulación.

	Consumo objeto (kWh)	Consumo CTE (kWh)	Ahorro (kWh)
<b>Calefacción</b>	10739	13694.3	-2955,3
<b>Refrigeración</b>	1866,56	2041.5	-175
<b>Iluminación</b>	5113,79	5113,79	0
<b>Equipos</b>	5786,10	5786,10	0

**Tabla 22.** Resumen de los consumos y ahorro energético del sistema real vs. CTE

Se confirma que, definitivamente, que en cuanto a consumos, el edificio real se asemeja más al consumo obtenido por CTE, ya que se asemeja más en cuanto a consumos que con el edificio NZEB. Se concluye que el caso ideal sería un edificio obtenido mediante la referencia nZEB. En la Figura 142 se comparan los gráficos de los casos de NZEB, el caso real y el caso CTE. Se visualiza que el caso real queda entre los dos edificios de referencia NZEB y CTE.



**Figura 142.** Sectorización de consumos anuales para el caso NZEB, caso real y caso CTE

En cuanto a transmitancias térmicas, En la Tabla 23 se resumen los valores resultantes para cada caso. Las transmitancias que se han obtenido en las simulaciones son las de los elementos opacos (fachadas, muros exteriores, columnas) y elementos huecos (ventanas), resumidas en la tabla por orden de los casos simulados.

Transmitancia térmica ( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ )					
NZEB		REAL		CTE	
Opacos	Huecos	Opacos	Huecos	Fachada	Opacos
0,2	<1,6	0,65	3	0,73	$2,4 < U < 3,6$

**Tabla 23.** Valores comparativos de transmitancias térmicas

En la tabla se observa que en el caso más desfavorable se encuentra el valor obtenido en la simulación CTE, mientras que en el extremo opuesto está el valor obtenido por NZEB. El valor de transmitancia para la simulación real, es decir, del edificio objeto, se ubica entre los dos extremos, con un valor de  $0,56 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Este valor se aproxima al resultado obtenido por CTE, con una diferencia de  $0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , por lo que se puede decir que las construcciones de la envolvente del edificio se acercan más a la normativa de CTE que a la NZEB. Se puede intuir que el resultado de transmitancia para la fachada (sin incluir huecos) es un valor razonablemente bajo debido a que la fachada contiene la pared exterior más el panel, y ambos componentes contienen materiales aislantes y revestimientos, en el caso de la pared y, cuantas más capas (y aislantes entre capas) disponga una construcción, menor pérdidas de calor habrá y menor transmitancia térmica debido al conjunto de capas.

Para el caso de transmitancias en huecos, se observa que, en el caso real, los valores están entre los establecidos por la norma CTE, muy alejados del valor de  $1,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  impuestos en la normativa NZEB, por lo que también se puede considerar que estos resultados cumplen con la normativa. Se ha de señalar que, en el caso de las simulaciones de los edificios con las referencias CTE y NZEB, las transmitancias de los huecos no diferenciaban entre vidrio o marco, como el caso real, que contiene huecos con marcos de aluminio por donde se puede haber mayor pérdida de calor por la diferencia constructiva.

## 12. Sistemas de mejora e impacto ambiental

A continuación se muestran varias opciones para favorecer el ahorro energético, reducir la demanda y promover la eficiencia energética. Todos estos casos, por consecuencia, disminuyen el impacto ambiental, reduciendo el consumo energético de energías no renovables, como también rebajando las emisiones de gases de efecto invernadero.

### 12.1. Envolvente térmica

Uno de los puntos donde se puede conseguir una mejora energética es en la envolvente térmica. Uno de los factores clave es el aislamiento térmico. Es de gran importancia escoger aislantes con conductividades lo más bajas posibles para reducir las pérdidas energéticas. No siempre está relacionado el espesor del aislante con la capacidad de aislamiento, es decir, no por tener un aislante más grueso que otro se va a proporcionar un ahorro energético, ya que el factor relevante es el material y la conductividad de este.

Con estas mejoras se conseguirá reducir las pérdidas o ganancias de energía en la vivienda, es decir, se almacenará el calor en épocas de invierno, evitando pérdidas en la envolvente y reduciendo el consumo de calefacción, como también reduciendo el flujo de calor desde el exterior hacia el interior en verano, disminuyendo el consumo de refrigeración.

### 12.2. Puentes térmicos

El Código Técnico de la Edificación, en su Documento Básico HE, sección HE1, define puente térmico como aquella zona de la envolvente térmica del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento.

La norma UNE-EN ISO 10211 define puente térmico como aquella parte del cerramiento de un edificio donde la resistencia térmica normalmente uniforme cambia significativamente debido a:

- a) penetraciones completas o parciales en el cerramiento de un edificio, de materiales con diferente conductividad térmica
- b) un cambio en el espesor de la fábrica
- c) una diferencia entre las áreas internas o externas, tales como juntas entre paredes, suelos, o techos.

Entonces, en las uniones entre elementos estructurales y la envolvente hay muchos puntos donde se pueden producir puentes térmicos, por donde es más fácil que haya pérdidas energéticas y condensaciones. Los lugares donde más se pueden producir puentes térmicos es en vigas,

columnas, pilares, forjados, ventanas, elementos salientes, irrupciones o cambios de espesor de las capas aislantes o uniones entre elementos con diferente construcción.

Como el objetivo es reducir la transmitancia térmica lénea de estos puentes térmicos, se buscarán soluciones constructivas donde no haya interrupciones ni variaciones en el aislamiento, o en su defecto, se reforzará el aislamiento en encuentros donde se produzcan estas irrupciones. Por ejemplo, se podrían revestir los pilares.

### 12.3. Carpinterías y vidrios

Como los puentes térmicos se producen también en carpinterías y ventanas, se buscarán soluciones como disponer de carpinterías con rotura de puente térmico o sistemas con cámara de aire, vidrios con factor solar y emisividad bajos. Las infiltraciones en huecos son otro problema que provoca mayor demanda energética. Las infiltraciones se producen sobretudo en las carpinterías, por lo que se ha de escoger carpinterías que tengan una buena permeabilidad al aire

Por otro lado, por los huecos se pueden producir más o menos ganancias de calor mediante la radiación solar. Si se precisa reducir el consumo de calefacción, es necesario encontrar vidrios que tengan un alto valor de factor solar “g”. Si se desea reducir el consumo de refrigeración, entonces se ha de reducir el factor solar, para que en la ventana se capte menos radiación solar y no haya tanto aporte calorífico hacia el interior. Se ha de seleccionar vidrios y carpinterías con una transmitancia térmica “U” lo más baja posible. El problema está en que, al reducir el valor de la “U” se reduce también el valor de “g”, por lo que no se captaría una gran parte de radiación solar.

También dependerá de la orientación de las mismas, ya que, si la orientación es el norte, en épocas de invierno normalmente se busca captar la mayor radiación solar posible, ya que son zonas frías y es donde puede haber mayor demanda de calefacción si no hay una buena radiación solar. Lo contrario sucedería para la orientación hacia el sud en épocas de verano, ya que al disponer de la mayor captación solar, la demanda de frío sería elevada. Ambos casos son críticos y resulta dificultoso escoger este valor.

### 12.4. Ventilación

La ventilación es otro problema que se ha de controlar para lograr un ahorro energético. Al ventilar la zona, hay intercambio de fluidos y de calor, por lo que se tiende a disminuir la temperatura y, por consecuente, se ha de consumir energía para reponer las pérdidas. La introducción del caudal afecta a la demanda y, por lo tanto, es recomendable introducir el menor caudal de aire para poder garantizar la salubridad de la zona. Para lograr esto, una solución podría ser el uso de la ventilación con caudal variable, o utilizando recuperadores de calor en los sistemas HVAC, y así minimizar las pérdidas energéticas.



## 12.5. Energías renovables

El uso de energías para sustituir las fuentes de energía convencionales puede mejorar la eficiencia energética del edificio. Las aplicaciones más comunes para ahorrar en recursos no renovables podrían ser en los sistemas de calefacción y electricidad. Las soluciones pueden ser la energía solar fotovoltaica para producción de electricidad, por lo que se reduciría la dependencia energética y la contaminación por CO<sub>2</sub>. Para la producción de energía para calefacción, existen varios tipos de tecnologías de uso renovable, como puede ser la aerotermia, donde se utilizan ciclos de refrigeración para extraer energía del aire y traspasarla al interior. Con el sistema de aerotermia no solo se podría obtener calor o frío en las estancias, sino también se podría obtener agua caliente sanitaria.

## Conclusiones

Este trabajo se ha dividido en dos partes, la primera, referente a la parte teórica y manual, mientras que en la segunda parte se ha expuesto la parte práctica, mediante distintos valores de entrada para realizar las simulaciones resultantes.

El haber redactado un manual sobre los programas que iba a utilizar me ha podido servir para el correcto aprendizaje de los mismos y sobretodo como autoayuda, ya que así he podido garantizarme la comprensión de los softwares a utilizar y, a la vez, estos pueden servir de ayuda para personas que quieran conocer acerca de estos, o bien complementar este trabajo con otras simulaciones. He tenido que dedicar una buena parte del tiempo para familiarizarme con estos programas, conocerlos individualmente antes de llevar a cabo este proyecto, ya que de otra forma hubiera resultado demasiado complicado.

Iniciarme en estas herramientas ha sido dificultoso, ya que nunca he profundizado sobre programas de este estilo, sí que he podido rastrear algunos durante la universidad, pero jamás en este nivel, y sobretodo nunca sin ayudas u otras opiniones. Por suerte, de Openstudio hay tutoriales, documentos y webs de cuestiones realizadas por usuarios que, por lo visto, suelen tener las mismas problemáticas al iniciarse en estos programas. Por otra parte, la ayuda de profesionales como Josep Solé me ha sido de gran utilidad, ya que me pudo recomendar acerca de algunas dudas u modos de plantear los problemas. Personalmente, considero que para iniciarse en cualquier herramienta es importante comenzar con problemas no demasiado complicados, para así abarcar todos los aspectos y afrontar las problemáticas para poder continuar con otros casos más complicados habiendo superado los primeros.

En cuanto a la segunda parte del proyecto, como he dicho antes, ha resultado menos tumultosa de lo que podría haber sido debido a que previamente dediqué mucho tiempo en conocer los programas y estudiarlos. Considero muy estratégico y de gran ayuda el hecho de combinar un programa para modelaje de geometrías, un segundo para la introducción de datos y simulación, y un tercero como motor de cálculo. Me ha parecido interesante aplicar mis conocimientos mediante simulaciones reales, ya que únicamente cuando aplicas la teoría en la práctica puedes aprender de verdad, ya que es en ese momento cuando pueden aparecer problemas. Ahora que tengo más conocimiento, puedo opinar que es importante, antes de comenzar cualquier simulación, haber investigado y recopilado todos los datos sobre las cargas internas, datos de los materiales, construcciones, parámetros, etc., siempre en el orden correcto. Aun así, considero que es improbable tener una simulación “perfecta”, es decir, no siempre se conocen todos los valores, ya que muchos son muy específicos o han de ser exactos para poder obtener resultados acordes con lo esperado. Algunos datos de entrada, como horarios de personas, iluminación, pueden variar según el edificio a estudiar, como en este caso, por lo que los valores de entrada no reflejarían exactamente la realidad. Por lo tanto, me parece que para obtener unos resultados completamente certeros se ha de conseguir valores constantes en el tiempo y lo más certeros posibles, cosa que es muy complicado de conseguir.



Por otro lado, los resultados de las simulaciones con los valores NZEB y CTE me han sido útiles como modelos de referencia del caso más ideal y del caso más usado, mientras que los resultados del edificio real han resultado ser más parecidos al edificio de referencia según CTE, en vez del edificio según NZEB. Considero que la planta 6, constructivamente es adecuado, ya que es un edificio “reciente”, donde se ha empleado las opciones constructivas de los nuevos edificios. En cuanto a consumo, considero que los edificios terciarios suelen ser los que más consumo tienen, como las universidades, debido al constante uso que se les dan, al número de personas que lo concurren y al gasto energético que supone. Por lo tanto, es imprescindible, si se quiere poder llegar a los valores de consumo y transmitancia propios de edificios tipo NZEB, adoptar medidas de mejora, como se ha podido detallar en el apartado *12. Sistemas de mejora e impacto ambiental*. Las herramientas de simulación energética, como EnergyPlus, cada vez se están implementando más y espero que en un futuro la sociedad sea más consciente, valore el ahorro energético y la eficiencia energética y pueda adoptar medidas conociendo los consumos y los datos de cualquier edificio.

## 13. Presupuesto

### 13.1. Licencias softwares

La licencia de software es la autorización que el autor o autores, que son quienes ostentan el derecho intelectual exclusivo de su obra, conceden a otros para utilizar sus obras, en este caso los programas. En este caso se ha utilizado los programas de Sketchup, Openstudio y EnergyPlus.

El programa de Sketchup que se ha utilizado ha sido el de versión libre, la versión gratuita Sketchup Make. Esta versión no dispone de tantas herramientas ni utensilios como la versión de pago, así que dependiendo del tipo de estudio, nivel de resolución o detalle que se exija, puede que sea más beneficioso obtener la versión Sketchup Pro. El precio es de 702 € anuales, en los que se incluye licencia para un usuario y un año de mantenimiento y soporte. En el caso de los softwares de simulación Openstudio y EnergyPlus, no requieren de licenciatura para poder utilizarlos, por lo que en este caso el coste de los programas sería 0 €.

### 13.2. Simulación energética

#### 13.2.1. Modelado envolvente

En esta fase se desarrolla el modelo tridimensional del edificio objeto, mediante la geometría proporcionada por el cliente. Es necesario obtener información de planos, esquemas, diseños CAD... E introducir los distintos cerramientos y acristalamientos. Este paso se lleva a cabo con el programa de Sketchup Pro, y el tiempo de ejecución depende siempre de la complejidad del edificio y de la documentación de la que se disponga, en este caso la información no estaba bien clasificada por lo que ha sido una tarea compleja la de conseguir los datos necesarios y útiles para conformar toda la geometría. Como no se puede finalizar una geometría sin todos los datos necesarios, el tiempo de ejecución ha sido bastante largo.

#### 13.2.2. Modelado de los horarios y cargas internas

En esta fase se define la utilización del edificio, así como la ocupación, las cargas internas como iluminación, equipos, termostatos, y sus correspondientes horarios. La complejidad de su elaboración depende del tipo de edificio. En este caso se ha podido obtener toda la información necesaria de forma relativamente sencilla.

En la fase de simulación energética se busca conseguir resultados e informes a partir los valores de entrada impuestos. Para llegar a esta fase es necesario antes completar los modelados de envolvente, horarios, cargas, y otros parámetros referentes al edificio. El tiempo de ejecución depende de la complejidad del edificio, añadiendo la aparición de problemas vinculados a deficiencias en el modelo, inestabilidad de alguna función del programa, etc., que interrumpen la simulación e impiden continuar, incluso se puede requerir el soporte de los responsables del

software, con el consiguiente retraso en tus plazos de entrega. La duración aproximada de una simulación puede variar en función de la práctica y uso que se le hace. Suponiendo un coste nominal por ingeniero de 25€ por hora para la realización de la simulación.

En este caso el coste de la simulación incluye todas las simulaciones realizadas en el proyecto, es decir, la simulación con CTE, el caso real y NZEB. Como en los tres casos las cargas internas y horarios eran iguales, y la geometría era similar, no ha sido necesario imponer el coste de tres simulaciones distintas.

### 13.3. Análisis y documentación

Esta fase se desarrolla antes de comenzar el proyecto y en cada iteración. En el inicio del proyecto se establecen los criterios y procesos a seguir, como las necesidades, estrategias de modelado, variables a estudiar, hipótesis, detalles, qué resultados se desea obtener, qué documentación se quiere generar... Mientras se está realizando y mientras se obtienen resultados, se van realizando iteraciones para modificar detalles o para obtener los resultados satisfactorios y lógicos. Se ha de seguir los criterios e hipótesis impuestas para cumplir los objetivos planeados. Durante esta fase se recopilan los datos, gráficos, informes e imágenes para confeccionar la memoria que recibirá el cliente y que refleja todo el trabajo y conclusiones propuestas.

### 13.4. Factores externos

En esta fase se incluyen los procesos ajenos a nuestro control. Por un lado, la obtención de toda la información adecuada y útil para llevar a cabo la simulación, ya que es necesario que el cliente proporcione toda la documentación necesaria para poder realizar los pasos adecuados y puede provocar retrasos. Es necesario invertir tiempo en consultar con el cliente todos los puntos, objetivos, detalles que se quieran redactar, como también es necesario concertar reuniones, realizar visitas al centro... Esta fase se ha de tener en cuenta para imponer los plazos y horarios de ejecución y entrega del proyecto.

### 13.5. Mejoras del edificio

Este apartado es optativo, una vez entregada la memoria y los resultados e informes se puede proceder al siguiente paso, que sería las mejoras para reducir los consumos energéticos y mejorar la eficiencia energética, como sería acercarse al caso NZEB. Calco que este caso es optativo porque no siempre hay posibilidad de inversión en cambios de tal magnitud en el edificio, o por temas legales. Como se especifica en el apartado de mejoras, los puntos clave donde se puede reducir el consumo es en el acristalamiento, en la fachada y en el uso de energías renovables.

En este proceso intervienen costes de actuaciones previas, tal como mano de obra para obtener datos, como costes de albañilería, los cambios en el acristalamiento y en las fachadas, o la inversión en energías renovables. Todos estos costes se resumen en el desglose de presupuesto de la Tabla 24.

### 13.6. Desglose de presupuesto

Una vez definidos todos los procesos y fases del proyecto, en la siguiente tabla se resumen los distintos costes relativos a la ejecución del proyecto y la inversión en mejoras.

Presupuesto proyecto			
Categoría	€/h	h	€
Licencia software	-	8.760	702
Modelado geométrico	20	200	4.000
Inserción de datos	20	130	2.600
Interpretación y corrección de resultados	20	90	1.800
<b>Simulación energética</b>			<b>9.102</b>
Documentación y análisis	20	180	3.600
<b>Total proyecto</b>			<b>12.702</b>
<b>Gastos generales y beneficio industrial (19%)</b>			<b>15.115,4</b>
<b>IVA (21%)</b>			<b>18.289,6</b>
Presupuesto mejoras			
Categoría	€/h	h	€
Actuaciones previas	9	22	200
Albañilería	9	466	4.200
Acristalamiento	9	300	2.750
Revestimientos e impermeabilización	9	577	5.200
<b>Total mejoras</b>			<b>12.350</b>
<b>Gastos generales y beneficio industrial (19%)</b>			<b>14.696,5</b>
<b>IVA (21%)</b>			<b>17.782,3</b>

**Tabla 24.** Desglose de presupuesto de proyecto y mejoras.

## 14. Bibliografía

[1] Openstudio. Disponible en:

<https://www.openstudio.net/>

[2] Sketchup. Disponible en:

<https://www.sketchup.com/es>

[3] EnergyPlus. Disponible en:

<https://energyplus.net/>

[4] IDAE. Guía técnica Instalación de climatización con equipos autónomos.

[http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Gu%C3%ADas%20t%C3%A9cnicas/Gu%C3%ADa\\_Instalaciones\\_Equipos\\_Autonomos.pdf](http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Gu%C3%ADas%20t%C3%A9cnicas/Gu%C3%ADa_Instalaciones_Equipos_Autonomos.pdf)

[5] Código Técnico de la Edificación. Documento básico DB-HE Ahorro de la energía.

<https://www.codigotecnico.org>

[6] NREL National Laboratory of the U.S. Department of Energy. Openstudio user documentation.

<http://nrel.github.io/OpenStudio-user-documentation/>

[7] NREL National Laboratory of the U.S. Department of Energy. Openstudio Quickstart guide.

[https://nrel.github.io/OpenStudi documentation/img/pdfs/openstudio\\_interface\\_quickstart.pdf](https://nrel.github.io/OpenStudi documentation/img/pdfs/openstudio_interface_quickstart.pdf)

[8] NREL National Laboratory of the U.S. Department of Energy. Tutorial videos.

<https://www.youtube.com/user/NRELOpenStudio/videos>

[9] Biggladder software. Engineering Reference-EnergyPlus 8.3.

<https://biggladdersoftware.com/epx/docs/8-3/engineering-reference/>

[10] Unmet Hours. Question-and-Answer Resource for the Building Energy Modeling Community.

<https://unmethours.com/questions/>

[11] Construction21.

<https://www.construction21.org/>

[12] EnergyPlus versión 8.7 Documentation. *Getting started*.

[13] EnergyPlus versión 8.7 Documentation. *InputOutputReference*.



- [14] EnergyPlus versió 8.7 Documentation. *TipsAndTricksUsigEnergyPlus*
- [15] EnergyPlus versió 8.7 Documentation. *Getting started*.
- [16] EnergyPlus versió 8.7 Documentation. *EngineeringReference*.
- [17] Institut Català de l'Energia. *Edificis de consum d'energia gairabé zero*. Col·lecció Quadern Pràctic Número 11.
- [18] Sketchup 3D Warehouse. Disponible en: <https://3dwarehouse.sketchup.com/>





TRABAJO DE FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería de la Energía

**MODELIZACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS CON  
HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN DINÁMICA**



**Volumen II**

**Anexos**

**Autor:** Nerea Caderot Bofill  
**Director:** Joan Grau Barceló  
**Convocatòria:** Gener 2017

## Índice Anexos

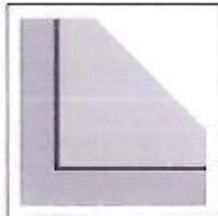
<b>Anexo I: Fichas técnicas.....</b>	<b>2</b>
<b>Anexo II: Tablas de resultados.....</b>	<b>10</b>
<b>Anexo III: Planos.....</b>	<b>14</b>

## Anexo I: Fichas técnicas



## COR 60 HOJA OCULTA - DATOS TÉCNICOS

Muestra ensayada por Aluminios CORTIZO S.A.



### Transmitancia

$U_H$  desde 1,3 (W/m<sup>2</sup>K)

Consultar tipología, dimensión y vidrio.

Zonas de cumplimiento del CTE\*: A B C D E  
\*En función de la transmitancia del vidrio.

### Aislamiento acústico

Máximo aislamiento: 28 mm.

Máximo aislamiento acústico  $R_w = 41$  dB

### Secciones

### Espesor perfilera

Marco 60 mm.

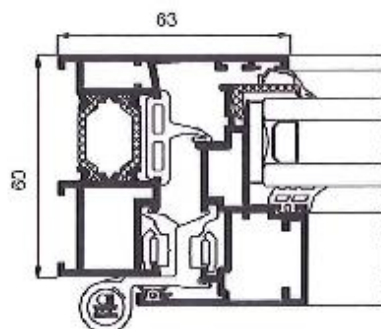
Ventana 1,6 mm.

Hoja 60 mm.

Posibilidad de hojas rectas y curvas.

Posibilidad de incorporar herraje con bisagras ocultas.

Longitud varilla poliamida: Marco 24 mm.



### Categorías alcanzadas en banco de ensayos

Permeabilidad al aire

(UNE-EN 12207:2000): Clase 4

Estanqueidad al agua

(UNE-EN 12208:2000): Clase 9A

Resistencia al viento

(UNE-EN 12210:2000): Clase C5

Ensayo de referencia 1,15 x 1,18 m. 1 hoja.

### Acabados

Posibilidad bicolor.

Lacado colores (RAL, mateados y rugosos).

Lacado imitación madera.

Lacado antibacteriano.

Anodizado.

### Posibilidades de apertura

Apertura interior:

Practicable de 1 y 2 hojas.

Oscilo-batiente de 1 y 2 hojas.

Abatible.

### Dimensiones máximas

Ancho (L) = 1.300 mm.

Alto (H) = 2.400 mm.

Balcónera 1 hoja, oscilo-batiente.

Consultar peso y dimensiones máximas para el resto de tipologías.

Peso máximo/hoja 120 Kg.



Manuel Millán Martínez  
Director de I+D+i

Este documento no es válido sin los correspondientes informes de ensayo.

Estos resultados sólo se refieren a las muestras ensayadas por Aluminios CORTIZO S.A. en sus instalaciones de Padrón y no indican ninguna característica de constancia en la calidad de la producción.



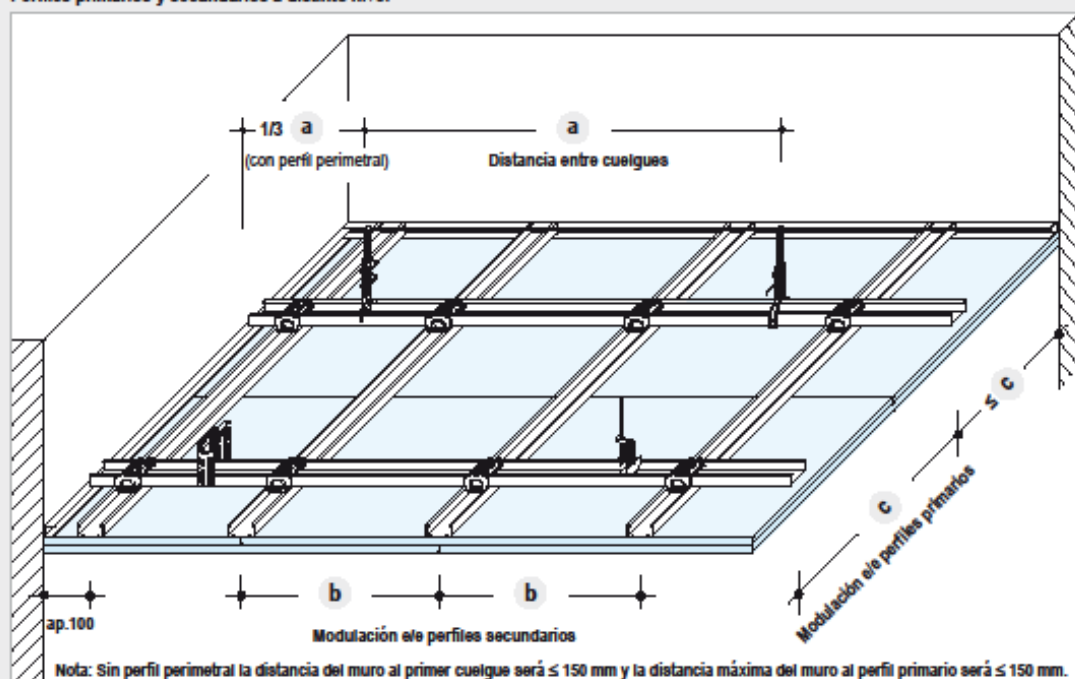
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

## D112.es Knauf Techos Suspendedos

Con estructura metálica a distinto nivel



Perfiles primarios y secundarios a distinto nivel



### Separación máxima entre primarios

■ Sin resistencia al fuego

medidas en mm

Distancia entre Primarios		Distancia entre Cuelgues <b>a</b>			Solo para techo bajo techo
<b>c</b>	Rango kN/m <sup>2</sup> (Ver tabla pag. 2)				<b>f)</b>
	≤ 0,15	≤ 0,30	≤ 0,50	≤ 0,65	
500	1200	950	800	750	
600	1150	900	750	700	
700	1100	850	700	650	
800	1050	800	700	-	
900	1000	800	-	-	
1000	950	750	-	-	
1100	900	750	-	-	
1200	900	-	-	-	

1) Utilizar solamente cuelgues con capacidad de carga de como mínimo 0,40 kN.

### Unión entre primarios y secundarios

Escuadra de cuelgue para CD 60x27



Caballote para CD 60x27



### Separación máxima entre secundarios

■ Sin resistencia al fuego

Espesor placa mm	Placa Transversal a los secundarios mm	<b>b</b>
12,5 / 2x12,5	500	En caso de protección al fuego, ver otras soluciones en página 4.
15	550	
18	600	



05/2014

## Panel Plus Kraft (TP 238)

Panel de altas prestaciones térmicas  
revestido con barrera de vapor kraft

### Descripción del producto

Panel Plus Kraft es un aislante termo-acústico de Lana Mineral Natural con textura uniforme, que se presenta en forma de paneles semi-rígidos de 0,60 m de ancho, revestidos en una de sus caras de una barrera de vapor kraft constituida por un complejo papel kraft / polietileno. Los paquetes de paneles se comprimen y embalan en toda su longitud con film de polietileno retráctil, y posteriormente se paletizan con Sistema Multiple Package System. Su coeficiente de conductividad térmica  $\lambda_D$  de 0,032 W/m·K hace de Panel Plus Kraft un panel aislante de altas prestaciones térmicas. Panel Plus Kraft ostenta la preceptiva Declaración de Prestaciones en base al Reglamento de Productos de la Construcción y el sello ACERMI francés. Asimismo, el certificado EUCB garantiza que se trata de un producto biosoluble y no peligroso para la salud, de acuerdo con la Directiva Europea 97/69/CE. Panel Plus Kraft forma parte del **sistema de aislamiento termo-acústico con contribución a la impermeabilización Gecol-Knauf Insulation**, certificado con el Documento de Idoneidad Técnica nº 535/09. Por otra parte también está certificado con la Ecoetiqueta tipo I (según ISO 14024) Eurofins Gold por sus bajas emisiones en COVs y su contribución a la Calidad de Aire interior en los edificios.

### Campos de aplicación

Panel Plus Kraft está destinado al aislamiento térmico y acústico en construcciones residenciales, comerciales e industriales, tanto en obra nueva como en rehabilitación. Se utiliza principalmente en los cerramientos de fachadas constituidos por muros de doble hoja de fábrica con cámara de aire. También puede emplearse como aislante en paredes divisorias entre usuarios. Su baja conductividad térmica permite reducir el espesor de aislamiento respecto de otros aislantes, cumpliendo con los requisitos sobre limitación de la demanda energética del Documento Básico DB-HE 1 del CTE.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

## ESTRUCTURA LUMINOSA LED MARKET

### Cuerpo de luminaria

Fabricada en chapa de acero electrocincado pintada con pintura Ultra blanca.

Luminaria completa lista para instalar y conectar a carril reforzado OD-5111.

Montaje: adosado / suspendido mediante carril portante OD-5111. MARKET se fija a carril mediante dos conectores OD-5971 (pedir por separado. Ver accesorios).

Equipo electrónico 220-240 V / 50-60 Hz. Bajo pedido: 110-240 V / 50-60 Hz.

Factor de potencia corregido  $\geq 0,97$ .

### Componente óptico

El cuerpo principal en acero pintado en Ultrablancos actúa como reflector optimizado para tecnología LED.

La estructura microprismática de alta transparencia está formada por una matriz de micropirámides de base hexagonal para un total control del deslumbramiento.

Fuente de luz LEDB40 con alta selección de binning (3 elipses de variación) que garantiza el flujo luminoso emitido y la temperatura de color declarada.

### Carril Reforzado OD-5111

Fabricado en chapa de acero electrocincado y termoalmatado en color blanco.

Cableado de paso no incluido en la luminaria. El carril portante permite el paso de cables para alimentación de luminarias y la formación rápida y sencilla de tiras continuas.

Su sección garantiza gran rigidez contra posibles torsiones.

Montaje adosado o suspendido con cadena, cable o caña mediante pieza de anclaje OD-5118.



## ILUMINACIÓN CONTINUA MODULAR



ledogroup.com



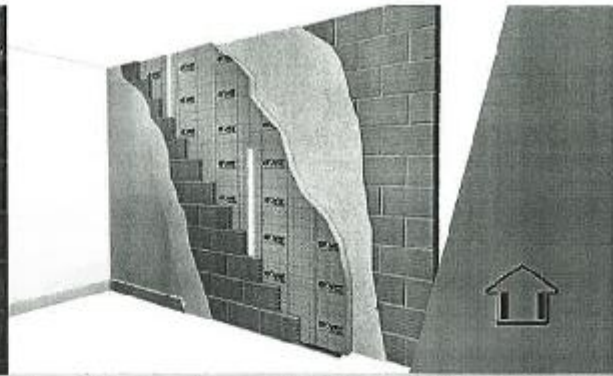
LUM LIGHT BOX / CD4-2015-01

ESTRUCTURAS LUMINOSAS LED • MARKET



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est





## ECO 032/ECO D 032

### Discussion

2.0.032. panel semirrígido de lana de vidrin ISOL'ER, no hidrófobo, revestido por una de sus caras con papel kraft que actúa como barrera de vapor.

FCO D 032, panel semirrígido de lana de vidrio ISOVER 150 mm de espesor, sin revestimiento.

၂၄. ဘုရားရှင်

Systema ECO

de Isoper con contribución a la "perforación" de la fachada tradicional de doble hoja cerámica y plomo de yeso, etc. and. Dispone de Documento de idoneidad Técnica, III, que garantiza un resultado favorable.

### **6.4 Multiplying decimals**

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Número
$\lambda$	Conductividad térmica declarada		W/mK	0,212	EN 12567 EN 12059
$\xi$	Calor específico $\rho \cdot c_{p,25}$		kJ/kg	970	
$\alpha_p$	Resistencia al flujo de aire		Pa $\cdot$ s/m <sup>2</sup>	> 5	EN 12054
	Resistencia al flujo de CO <sub>2</sub> Dn32		Pa $\cdot$ s/m <sup>2</sup>	> 1	EN 17501
	Resistencia al flujo de H <sub>2</sub> O Dn15		Pa $\cdot$ s/m <sup>2</sup>	> 1	EN 17501
$\alpha_{S1}$	Almacenamiento de agua a corto plazo		kg/m <sup>2</sup>	< 1	EN 12529
$\gamma$	Resistencia a la difusión de vapor de agua del material en forma de papel kraft		mg/m <sup>2</sup> hPa	< 1	EN 12086
$\alpha_{S2}$	Resistencia a la difusión de vapor de agua, $\lambda \cdot d$ (a 0 mm)		-	> 1	EN 17509
$D_0$	Estandarización Dimensional de		m	< 1	EN 12086

Special Geometry	Resonance Wavelength $\lambda_0$ (nm)	FWHM (nm)	Coarse tuning range (nm)	Channel spacing (nm)
EN-125	1512.630 ± 0.1559	EN-1286	EN-163-354	EN-1542
EOLSE				
40	1.5	~	0.5	EN-EN-13162-03-05621.901 Wavelength: 1512.630 nm
100	9.0	23	1.0	EN-EN-13162-03-05621.901 Wavelength: 1512.630 nm
TEO D33				
40	1.25	-	0.5	EN-EN-13162-03-05621.901 Wavelength: 1512.630 nm
10	3.0	-	1.00	EN-EN-13162-03-05621.901 Wavelength: 1512.630 nm

\*<sup>a</sup> *P*-values are based on chi-square tests.

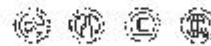
extension



Ejeador (mm)	Carga (Fm)	Área (cm <sup>2</sup> )	σ <sub>y</sub> (Fm)	m <sup>2</sup> puls	m <sup>2</sup> cm <sup>2</sup>
E00031					
42	1,35	0,60	9,75	116,34	2,500
100	1,35	0,60	4,05	48,10	875
Fm 0072					
40	1,35	0,60	9,75	116,34	2,500
100	1,35	0,60	4,05	48,10	875

### Ventajas

- Los productos del sistema EDOSEC Fachadas ofrecen la más amplia gama de resistencias térmicas del mercado.
- Especialmente recomendado para obra nueva.
- Resolución de forma integral e aislamiento térmico, acústico, protección contra incendios y simplificación de la fachada en una sola partida de obra.
- Adaptabilidad de la lana de vidrio a los encuentros con ventanas, pilares, etc, sin que se deteriore el producto ni la continuidad del mismo.
- Línea que sobresale y se pule hasta que "dalle la corte".
- Producto sostenible con composición en material reciclado superior al 50%. Material reusable 100%.
- Materialmente que no es medio de transporte y es un producto de intrínsega misia.
- Mantiene las propiedades del sistema inalteradas durante toda la vida útil del edificio o no se degrada con el tiempo.



... itic. 10x



61. 443. 4517. 4604

Indonesian Journal of Applied Statistics



0002-1907/94/0004-0000\$04.00/0

77 23 11

ရန်ကုန်မြို့နယ်၊ အရှေ့ဘက်ရှိ မြို့နယ်များ

www.elsevier.com/locate/jpe

 @ISOVERes

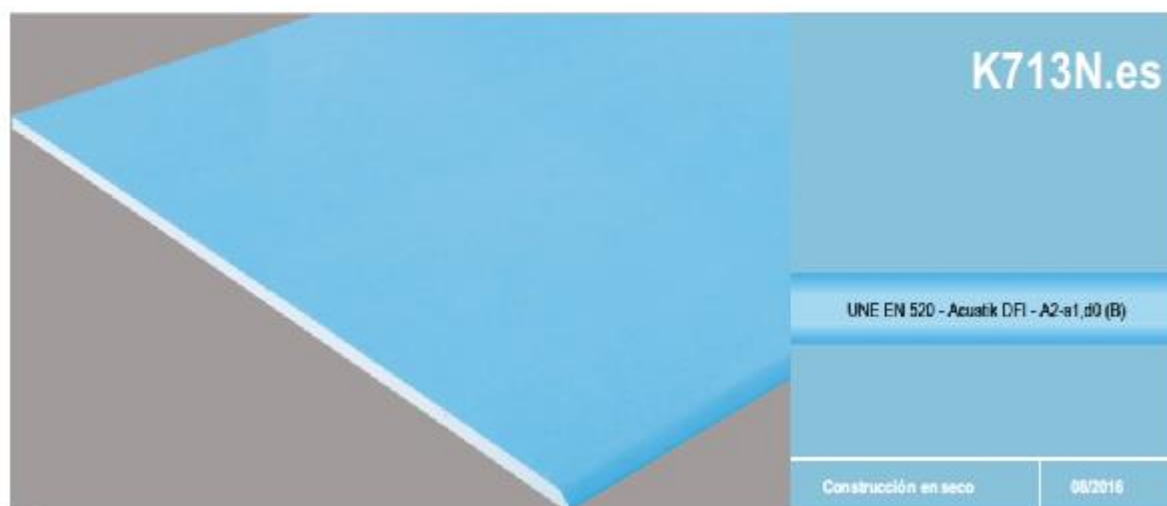
**ISOVER** Riscaldamento

☞ ISO 9001 Käsitelmä

**isoveres**

$$Q = \frac{0.06}{0.052} = 1.154$$





## K713N.es Knauf Acustik

Placa acústica para sistemas de construcción en seco

Descripción del producto	Campo de uso	Propiedades
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tipo de placa: UNE EN 520</li> <li>Color del cartón: Azul</li> <li>Tinta de rotulo negra</li> </ul> <p><b>Medidas</b> Placa de 12,5 mm.: • 2600x1200</p> <p><b>Almacenaje</b> En sitios secos, en palets.</p>	<p>Las placas Knauf Acustik pueden ser utilizadas en cualquier unidad de obra, en interior, como aplacado de cierre de los sistemas de construcción en seco, con requerimientos acústicos elevados.</p> <p><u>Sistemas:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Techos suspendidos.</li> <li>Revestimiento interior de buhardillas.</li> <li>Tabiques con estructura metálica.</li> <li>Trasdosados autoperforantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fácil de trabajar.</li> <li>No combustible.</li> <li>Se puede curvar.</li> <li>Poca retracción e hinchazón con los cambios climáticos.</li> </ul> <p>No es apta para zonas de humedad permanente ni tabiques que tengan conducciones de líquidos en su interior.</p>



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est



**CONFIGURACION:**

1º Exterior	8 mm NEUTRALUX®-S
Cámara	10 mm argon
2º Interior	55.1 mm MULTIPACT® Float incoloro

**VALORES TÉCNICOS:**

**Factores Luminosos**

Transmisión Luminosa (%)	$\tau_v$	76
Reflexión Luminosa exterior (%)	$\rho_{ve}$	12

**Factores Energéticos**

Transmisión solar directa (%)	$\tau_e$	45
Reflexión solar directa (%)	$\rho_e$	25
Absorción energética (%)	$\alpha_e$	30
UV - transmisión	$T_{UV}$	2.2
Coefficiente de sombra	SC	0,63
Factor solar (%)	g	55

**Coefficiente de transmisión térmica**

U declarada( $W/m^2K$ )	U	1,4
-------------------------	---	-----

**Propiedades mecánicas**

Resistencia impacto de péndulo (EN 12600)	NPD / 1(B)1
---	-------------

**Propiedades acústicas**

$R_w$ ( $C; C_{tr}$ ) dB	39 (-1;-5) (valores estimados)
--------------------------	-----------------------------------

The characteristics must be considered indicatives and only for information

**Note:**

These data sheet values are obtained from calculating systems as described at nowadays standards (UNE-EN 410 and UNE-EN 673) and may be different from the ones obtained from final products. Results are the ones reached at the preparation time of this data sheet. TVITEC S.L. reserves the right to modify them without prior advice.

Poli Ind El Bayo S.N  
24482 Cubillos de Leizor (Ponferrada)  
Tfno.: (+34) 987 078 888 • Fax: (+34) 987 088 880

C/ Santa Engracia, 141, 1º, • 28003 MADRID  
Tfno.: (+34) 91 534 10 80 • Fax: (+34) 91 129 9600



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

## Anexo II: Tablas de resultados

	Total Energy [GJ]	Energy Per Total Building Area [MJ/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m2]
Total Site Energy	73.06	122.84	122.84
Net Site Energy	73.06	122.84	122.84
Total Source Energy	242.74	408.16	408.16
Net Source Energy	242.74	408.16	408.16

**Tabla 1.** Resultados de energía total y neta

	Electricity [GJ]	Natural Gas [GJ]	Additional Fuel [GJ]	District Cooling [GJ]	District Heating [GJ]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	33.61	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	1.72	0.00	0.00
Interior Lighting	18.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	19.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	37.73	0.00	0.00	1.72	33.61	0.00

**Tabla 2.** Tabla de consumos por usos de energía

	Electricity Intensity [MJ/m2]	Natural Gas Intensity [MJ/m2]	Additional Fuel Intensity [MJ/m2]	District Cooling Intensity [MJ/m2]	District Heating Intensity [MJ/m2]	Water Intensity [m3/m2]
Lighting	30.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	0.00	0.00	0.00	2.89	56.51	0.00
Other	32.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	63.44	0.00	0.00	2.89	56.51	0.00

**Tabla 3.** Uso de energía por zona acondicionada

	Area [m <sup>2</sup> ]	Condi- tioned (Y/N)	Part of Total Floor Area (Y/N)	Volume [m <sup>3</sup> ]	Multi- pli- ers	Above Ground Gross Wall Area [m <sup>2</sup> ]	Under- ground Gross Wall Area [m <sup>2</sup> ]	Window Glass Area [m <sup>2</sup> ]	Open- ing Area [m <sup>2</sup> ]	Lighting [W/m <sup>2</sup> ]	People [m <sup>2</sup> per person]	Plug and Process [W/m <sup>2</sup> ]
THERM AL ZONE: ALMAC EN	53.42	Yes	Yes	149.57	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	50.00	0.0000
THERM AL ZONE: DESPA CHO	25.03	Yes	Yes	70.07	1.00	28.34	0.00	10.94	13.58	6.3000	10.00	15.983 4
THERM AL ZONE: LABOR ATORIO	388.82	Yes	Yes	1088.7 0	1.00	192.67	0.00	74.30	92.06	7.1000	6.00	47.708 4
THERM AL ZONE: PASILL O	96.06	Yes	Yes	268.96	1.00	8.20	0.00	5.25	6.29	4.5000	50.00	0.0000
THERM AL ZONE: TALLER	31.40	Yes	Yes	87.93	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.0000	12.00	7.9606
Total	594.73			1665.2 3		229.21	0.00	90.49	111.93	6.1090	8.16	32.283 8
Condi- tioned Total	594.73			1665.2 3		229.21	0.00	90.49	111.93	6.1090	8.16	32.283 8
Uncond- itioned Total	0.00			0.00		0.00	0.00	0.00	0.00			

**Tabla 4.** Sumario de zonas térmicas

	Total	Outdoors
Wall	133	101
Floor	9	0
Roof	9	0
Internal Mass	3	0
Building Detached Shading	0	0
Fixed Detached Shading	0	0
Window	56	56
Door	0	0
Glass Door	0	0
Shading	680	680
Overhang	0	0
Fin	0	0
Tubular Daylighting Device Dome	0	0
Tubular Daylighting Device Diffuser	0	0

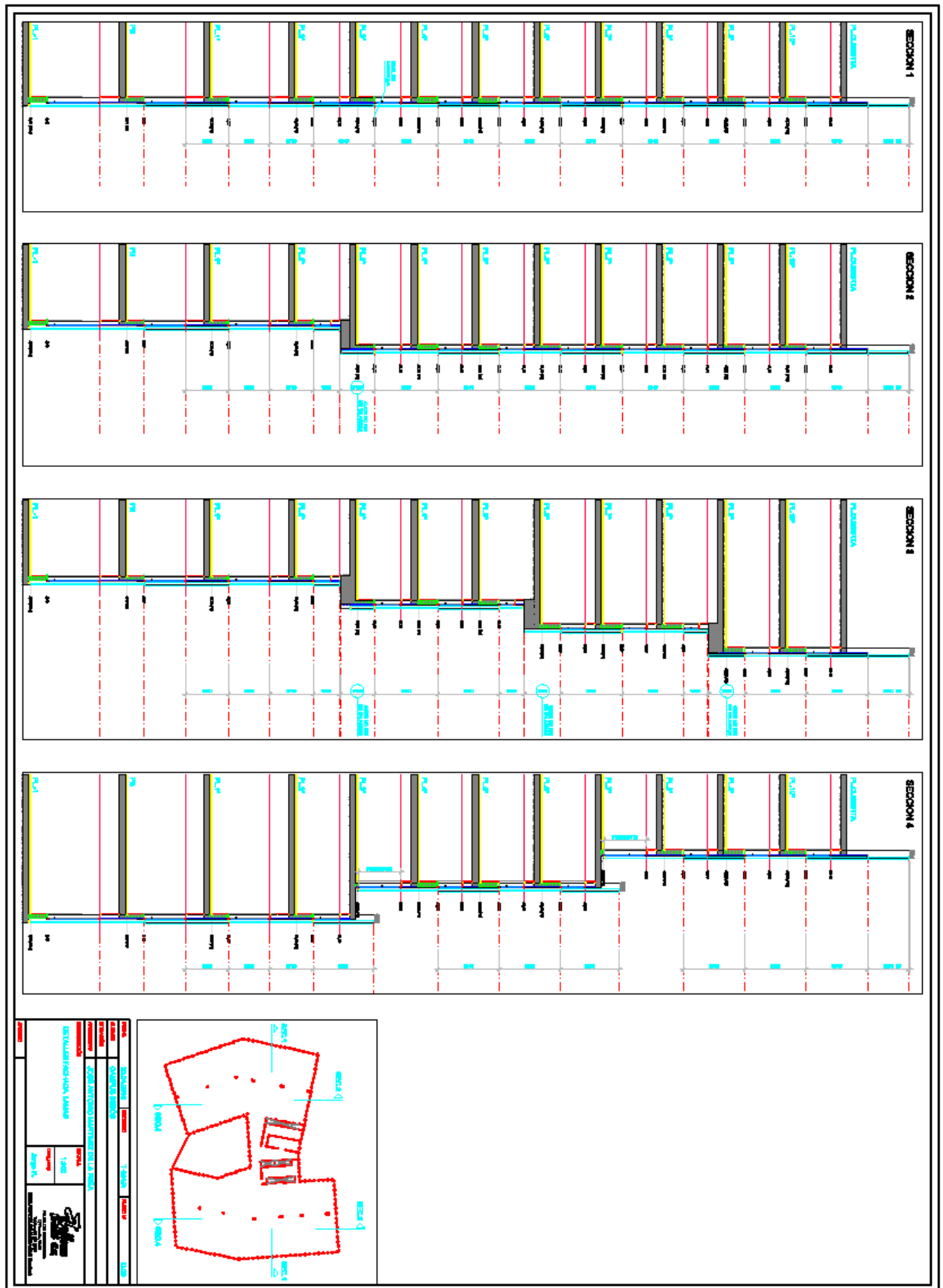
**Tabla 5.** Numeración de objetos

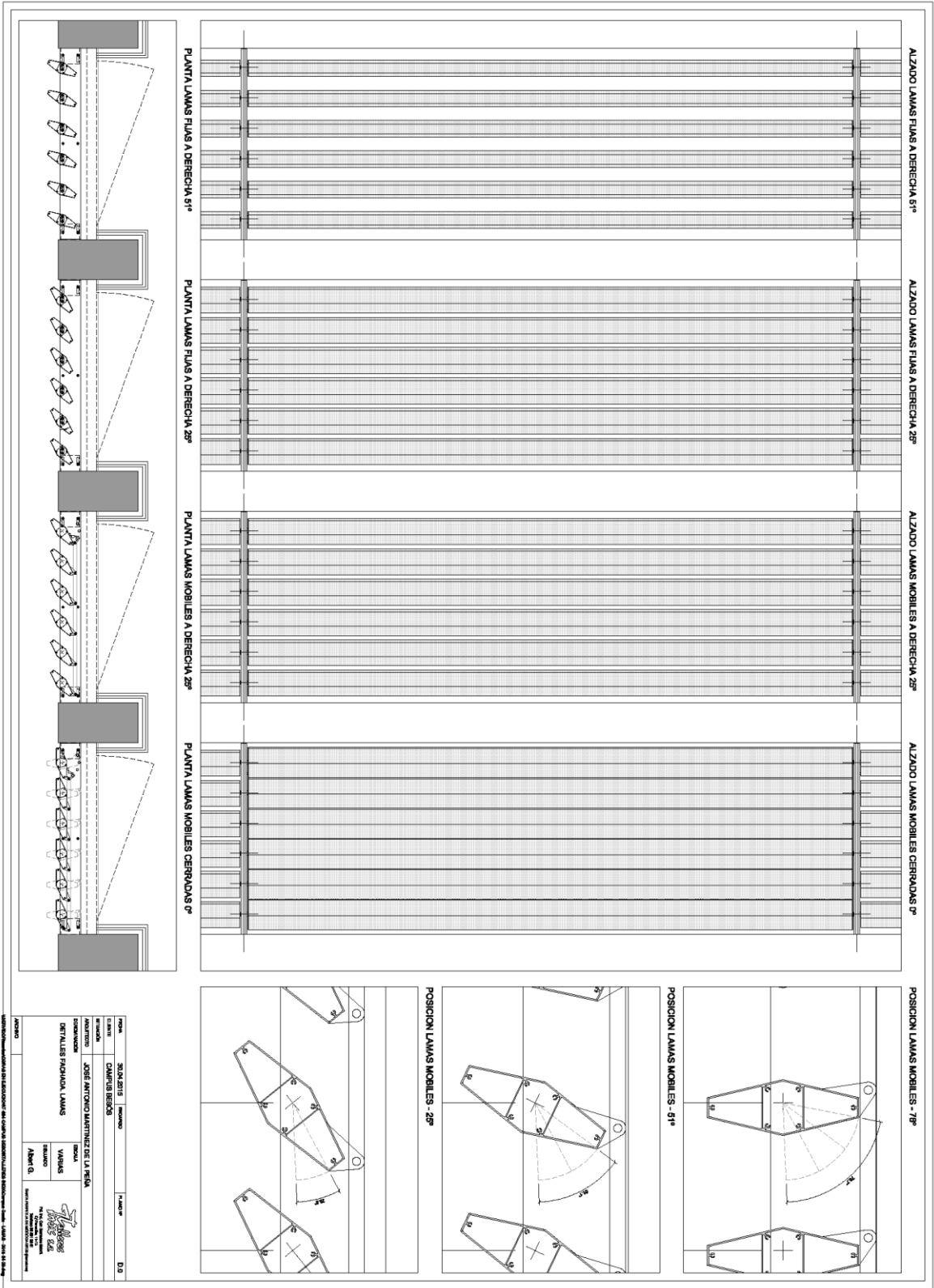
	Percent [%]
Interior Lighting	25.20
Space Heating	46.01
Space Cooling	2.35
Fans-Interior	0.00
Service Water Heating	0.00
Receptacle Equipment	26.44
Miscellaneous	-0.00

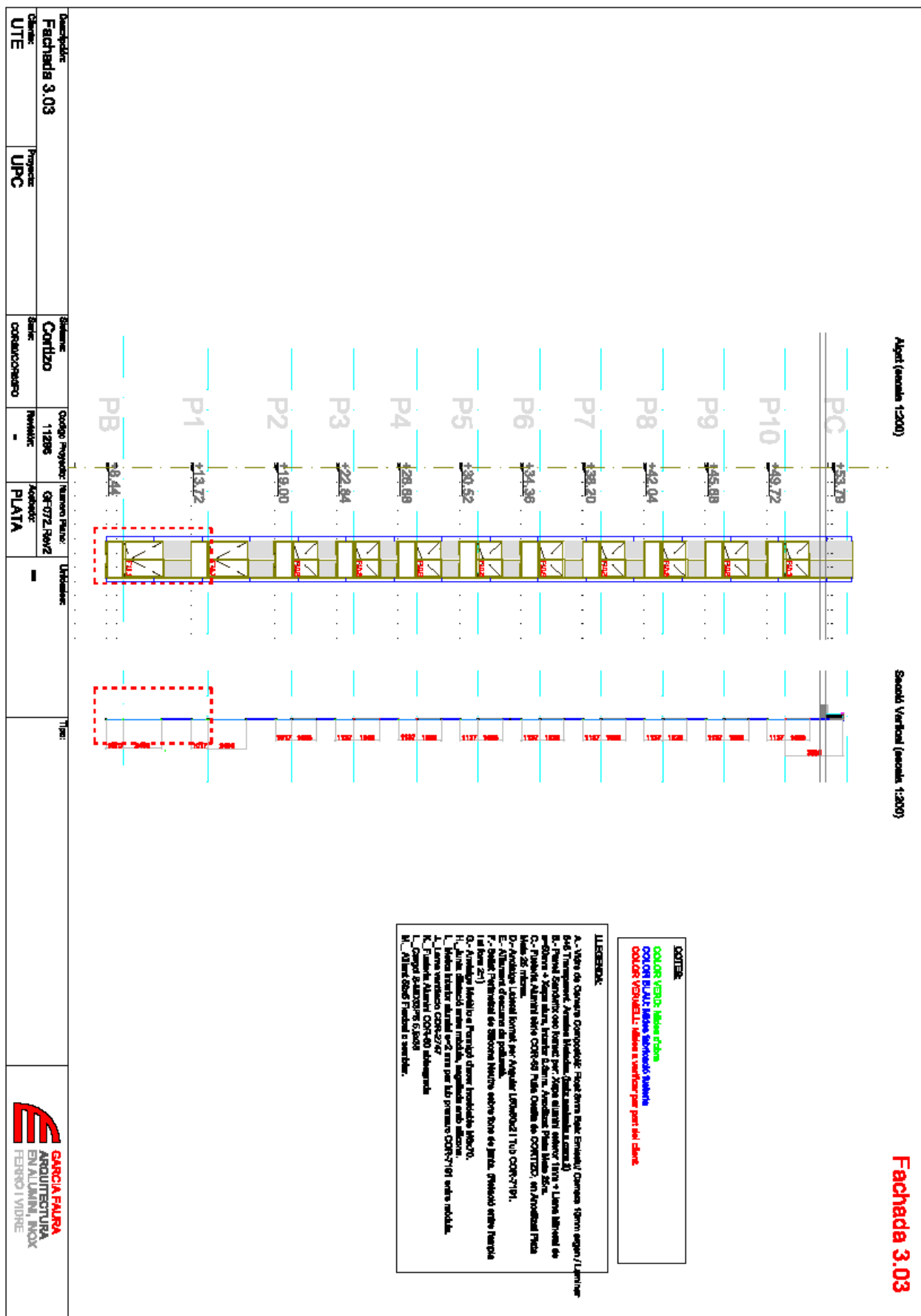
**Tabla 6.** Porcentaje de uso de energía

## Anexo III: Planos









## CDB - EDIFICI A - 6ª PLANTA - DINA A3- ESCALA 4:1

